Ein
Beitrag zum Problem der Kohlensäureausbrüche
in Steinkohlengruben auf Grund bergmännischer Beobachtungen in schlesischen CO_2-Betrieben

Von der Technischen Hochschule zu Breslau
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Walter Herrmann**

in Hohenwiese i. Riesengebirge

Referent:
o. Prof. Dr.-Ing. **G. Spackeler**

Korreferent:
o. Prof. Dr.-Ing. **O. Ruff**

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Februar 1932

Sonderdruck aus der
Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preußischen Staate. 1932.
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.

Berlin 1932

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Lebenslauf.

Ich, Walter Herrmann, wurde am 19. Februar 1903 in Berlin geboren. Nach dem Besuch der Gemeindeschule in Hohenwiese im Riesengebirge und einer Privatschule in Schmiedeberg trat ich Ostern 1913 in die Sexta der Oberrealschule Hirschberg im Riesengebirge ein, die ich Ostern 1922 als Abiturient verließ. — Nach $^1/_2$jähriger praktischer Tätigkeit als Bergbaubeflissener in Hermsdorf bei Waldenburg in Schlesien studierte ich drei Semester Bergbau an der Technischen Hochschule München, sodann, unterbrochen durch weitere Praxis auf ost- und westdeutschen Zechen und Studienaufenthalten im Ausland, an der Technischen Hochschule Breslau. Diese verließ ich Januar 1929 als Diplom-Bergingenieur. Von April bis November 1929 war ich bei den Niederschlesischen Kalkwerken in Görlitz als Direktionsassistent angestellt, daran anschließend in der gleichen Stellung auf dem Steinkohlenbergwerk Cons. Wenceslausgrube in Mölke in Schlesien, wo ich auch den Posten des Grubenüberwachungsingenieurs auszufüllen hatte. Infolge der Stillegung dieser Zeche im Januar 1931 verlor ich meine Stellung und war seitdem in Zechenverwaltungen und an den bergmännischen Instituten der Technischen Hochschule Breslau unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Spackeler und Prof. Dr.-Ing. Groß, sowie am anorganisch-chemischen Institut, Leitung Prof. Dr.-Ing. Ruff, mit der Anfertigung der vorliegenden Arbeit beschäftigt.

W. Herrmann.
Dipl.-Ing.

Inhaltsübersicht.

	Seite
A. Allgemeines über Gasausbrüche	5
B. Kohlensäure-Theorie	5
1. Bisherige Anschauungen und ihre Kritik	5
2. Die neue Theorie	6
C. Nutzanwendung der neuen Theorie	10
1. Tiefenlage der Ausbrüche	10
2. Die Kohlensäureverteilung im Kohlenstoß	12
3. Ueberblick über Ausbruchseignung und -gefahr	14
4. Die Ausbruchsgründe und -arten	14
5. Die Ausbruchsgröße	16
6. Die Ausbruchsanzahl	16
7. Die Verzögerung von Ausbrüchen	16
8. Ableitung der Herdformen	17
D. Druckwelle und Flözkohlensäure	17
1. Die CO_2-Wältheorie	17
2. Nutzanwendung in Ausrichtungsbauen	17
3. Nutzanwendung in Vorrichtungsbetrieben	18
4. Nutzanwendung in Abbauen	20
E. Schutzmaßnahmen	23
1. Erkennung der Ausbruchsgefahr	23
2. Verhütung der Ausbrüche	23
3. Gefahrminderung bei Ausbrüchen	25
F. Gesamtüberblick	25

Literaturübersicht.

1. Beck: Ueber Kohlensäureausbrüche im Werratal der deutschen Kalilagerstätten. Kali 1912, S. 125 ff.

2. Becker: Zur Theorie der plötzlichen Gasausbrüche. Oesterr. Zeitschr. f. d. Berg- u. Hüttenwes. 1907, S 269.

3. v. Bubnoff: Die Tektonik im NO-Rand des niederschlesischen Kohlenbeckens und ihr Zusammenhang mit den CO_2-Ausbrüchen im Flöz. Z. f. Bergwes. 1924, B 106 ff.

4. Derselbe: Der geologische Bau und die CO_2-Ausbrüche der Rubengrube bei Neurode. Z. f. Bergwes. 1926, B 75 ff.

5. Derselbe: Untersuchungen über die Entstehung und Bekämpfung der CO_2-Ausbrüche im niederschlesischen Kohlenbezirk. Z. f. Bergwes. 1927.

6. Derselbe: Beiträge zur Geologie der CO_2-Ausbrüche im Flöz. Z. f. Bergwes. 1928.

7. Gaertner: Abbau mit Selbstversatz. Glückauf 1929, S. 697 ff.

8. Derselbe: Die Entspannung des Gebirges und der Gase durch den Bergbau. Protokoll des Reichskohlenrates vom 4. Dezember 1930.

9. Gillitzer: Das Wesen des Gebirgsdruckes und seine Ausnutzung beim Abbaubetrieb des Mansfelder Bergbaus. Glückauf 1928, S. 977 ff.

10. Grätz: Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwicklung.

11. Gropp: Gasvorkommen in Kalisalzbergwerken in den Jahren 1907 bis 1917. Z. f. Bergwes. 1918, B 228 ff.

12. Groß-Zobel: Ein Beitrag zur sachmäßigen Bewertung anstehender Steinkohle. Glückauf 1931, Nr. 45/46.

13. Herd: Bums in 2. mine, Springhill Nova Sektia. Publ. 245 d. Amer. Inst. of Mines and Metall. Eng. 1929.

14. Jarlier: Mechanismus der Ausbrüche von Gas und festem Material. Rev. de l'Ind. min. 1931, Nr. 262/63.

15. Jicinski: Plötzliche Ausbrüche im Steinkohlenbergbau. Montanist. Rundschau, Bd. 377.

16. Kegel: Lehrbuch der Bergwirtschaft, S. 311 ff.

17. Kindermann: Die Bekämpfung der CO_2-Gefahr in Niederschlesien. Zeitschr. d. Oberschles. Vereins 1928.

18. Langecker: Die Nutzbarmachung des Gebirgsdruckes für die Kohlengewinnung. Glückauf 1928, S. 1401 ff.

19. Landolt-Börnstein: Physikalisch-chemische Tabellen.

20. Morin: Gebirgsdruckwirkungen beim Steinkohlenabbau. Bull. de la Soc. min. 1912, II, S. 251 ff.

21. Derselbe: Gebirgsdruckwirkungen im Steinkohlenbergbau. Ebendort 1920, Bd. 17.

22. Müller: Untersuchungen an Karbongesteinen. Glückauf 1930, S. 1601 ff.

23. Derselbe: Experimentelle Gebirgsdruckforschung. Kohle u. Erz 1931, Nr. 20.

24. Rother: Vortrag im Reichskohlenrat. Protokoll des Reichskohlenrates vom 4. Dezember 1930.

25. Royer: Rolle des Gebirgsdruckes bei plötzlichen Gasausbrüchen. Vortrag. Lüttich 1930.

26. Derselbe: Reisebericht der französischen Kommission in Niederschlesien im Oktober 1930. Rev. de l'Ind. min. 1. VIII. 1931.

27. Rudolf: Theoretische Betrachtungen über Gasausbrüche im Steinkohlenbergbau. Glückauf 1927, S. 1601 ff.

28. Ruff: Die chemischen und physikalischen Vorgänge bei Gasausbrüchen. Z. f. Bergwes. 1927.

29. Derselbe: Ebendort 1930.

30. Derselbe: Z. f. angew. Chemie 1930.

31. Schausten u. a.: Gasausbrüche im Steinkohlenbergbau. Z. f. Bergwes. 1910.

32. Spackeler: Die sogenannte Druckwelle. Glückauf 1928, Nr. 26.

33 Derselbe: Der Nutzdruck als Abbaufolge. Glückauf 1929, Nr. 14/15.

34. Derselbe: Der Druck auf den Kohlenstoß. Glückauf 1929, Nr. 51.

35. Derselbe: Druckwirkungen im Liegenden. Glückauf 1930, Nr. 23/24.

36. Derselbe: Der heutige Stand der Gebirgsdruckfragen. Bergbau 1931, Nr. 34/35.

37. Thiel: Entstehungsmöglichkeiten der im Steinkohlenbergbau auftretenden verdichteten CO_2. Glückauf 1914, S. 251 ff.

38. Vater: Studien über die Adsorption von Gasen durch Kohle. Dissertation, Dresden 1910.

39. Weber: Der Kohlenbergbau von Anina und Resicza unter besonderer Berücksichtigung der Gasausbrüche auf der Domangrube. Glückauf 1914, S. 700 ff.

40 Weber: Der Gebirgsdruck als Ursache für das Auftreten von Schlagwettern usw. Glückauf 1916, S. 1027 ff. und 1917, S. 37 ff.

41. Werne: CO_2-Ausbrüche beim Steinkohlenbergbau in Niederschlesien, Südfrankreich und Mähr.-Ostrau. Z. f. Bergwes. 1914.

42. Werne, Rademacher u. a.: Untersuchungen über die Entstehung und Bekämpfung der CO_2-Ausbrüche im niederschlesischen Steinkohlenbergbau. Z. f. Bergwes. 1927.

43. Werksakten und Risse: Wenzeslaus- und Rubengrube. Grubenphotos: Dipl.-Ing. Gose, Hoyerswerda, und Verfasser.

44. Winkhaus: Betriebseindrücke aus dem englischen Bergbau. Glückauf 1928, S 1637 ff.

A. Allgemeines über Gasausbrüche.

In erster Linie leiden Steinkohlengruben unter Gasausbrüchen; aber auch Kaligruben und eine Reihe ausländischer Erzbergwerke sind nicht davon frei. Meistens bestehen die ausbrechenden Gase aus CH_4, CO_2, oder aus Gemischen dieser beiden. Hinsichtlich der Ausbruchsgröße halten die des Kohlendioxydes die Spitze, dafür sind Methanausbrüche weiter verbreitet.

Es liegt beim Forschen nach den Gründen für die Ausbrüche dieser beiden Gase nahe, auf eine für beide gültige „Ursachenformel" hinzuarbeiten, um so mehr, als der lokale Befund der Ausbruchsorte viel Gemeinsames zeigt. Einer eingehenden Prüfung hält jedoch die vermeintliche Parallelität der Erscheinungsformen nicht stand, wie schon die großen Unterschiede im physikalischen Verhalten der Gase erwarten lassen. Auch die geologischen Eigenheiten sind so verschieden, daß v. Bubnoff in seinen Arbeiten über Gasausbrüche sein diesbezügliches Urteil in den Worten zusammenfaßt(6)*): „Ich möchte daher mit allem Nachdruck darauf hinweisen, daß die Erfahrungen in Schlagwettergruben keinesfalls ohne weiteres auf Kohlensäuregebiete übertragen werden dürfen". Darum wird sich der Verfasser, ausgehend von meist persönlichen Beobachtungen, hier nur mit den Problemen der Grubenkohlensäure befassen und erst später, wenn sich seine Anschauungen hierfür als stichhaltig erwiesen haben sollten, eine Klärung der CH_4-Ausbrüche an Hand ähnlicher Ideen versuchen.

Im deutschen Steinkohlenbergbau sind bisher nur Zechen des Waldenburg-Neuroder Reviers von CO_2-Ausbrüchen heimgesucht worden. Auch einige Kaligruben des Werratales litten darunter. Besonders betroffen sind die Kohlenbezirke des französischen Zentralplateaus: Gard-Becken, Becken von Brassac und Singles-Gebiet. Nicht unerwähnt darf das Revier von Ostrau in Mähren bleiben, obwohl es wegen der kleinen Zahl und vorwiegend geringen Heftigkeit seiner Ausbrüche eine glückliche Position den anderen genannten Revieren gegenüber einnimmt.

Den größten Teil der bisherigen deutschen CO_2-Forschungsergebnisse verdankt man dem vom Preußischen Staat ins Leben gerufenen „Kohlensäure-Ausschuß", in dessen Arbeiten die geologische und chemisch-physikalische Seite dieses Problems eine bedeutsame Rolle einnimmt.

B. Kohlensäure-Theorie.

1. Bisherige Anschauungen und ihre Kritik.

Die aus diesen Arbeiten vorliegenden geologischen Ergebnisse erklären Herkunft, Verbreitung und lokale Schwankungen in der CO_2-Führung der Flöze. Danach schreibt man der Kohlensäure juvenile Herkunft aus einer magmatischen Störungswelle in Mitteleuropa während der Zeit der Alpenfaltung(6) zu. Auf Sprüngen aus der Tiefe aufsteigend, breitete sich das Gas in porösen Gesteinen flächenhaft aus und drang auf Klüften, geologische Zerrungszonen wegen ihres geringeren Widerstandes bevorzugend, nach oben. Die Kohlenflöze selbst werden, nicht zuletzt wegen ihrer relativ geringen Mächtigkeit, weniger als CO_2-Wege gedient haben. Ihre CO_2-Intrusion erfolgte dort, wo poröse, d. h. gasdurchlässige Gesteinshorizonte und Störungssysteme unmittelbar über oder unter dem Flöz lagern oder es durchsetzen. Hierauf beruht der Erfahrungssatz, daß festes Nebengestein, wie derber, poröser Sandstein, eine erhöhte CO_2-Führung des Flözes mit sich bringt.

Ist eine völlige Gasaufladung des Flözes vorhanden, so spielt die Struktur der Kohle für die Gefährlichkeit des Betriebes eine bedeutsame Rolle. Feste, glänzende Kohle ist meist harmlos. Sie entgast flott und ist dann nicht mehr ausbruchsgefährlich. Entgegengesetzt und der Laboratoriumserfahrung auffälligerweise widersprechend, verhalten sich, wie in allen CO_2-Betrieben übereinstimmend festgestellt ist, weiche, mürbe Flözpartien. Sie können diesen Zustand von Anfang an, also primär haben, oder sie sind durch tektonische Beanspruchungen in ihn versetzt worden. Diese sekundäre Strukturveränderung, die auch in Stauchungs- und Verdrückungszonen vorhanden sein muß, ist in den dynamisch besonders mitgenommenen Ausbruchsrevieren häufig anzutreffen. Naturgemäß mußten die Flöze zur tektonisch mobilsten Schicht werden, da sie wegen ihrer geringen Druck- und Scherfestigkeit die Stellen der minoris resistentiae sind. Beiligende Abb. 1 zeigt ein charakteristisch ausbruchs-

Abb. 1.

gefährliches Streckenort der Wenzeslausgrube (3. Wilhelmflöz, 3. Sohle Nr. 6 bei 2350 m), das in einer Stauchungszone steht. (Die Mächtigkeit wuchs von 2,5 auf 4 m.) Die Bindung an tektonische Vorgänge ist so auffallend, daß v. Bubnoff darüber mit den Worten urteilt(6): „Ich kenne keine Stelle, wo die Ausbruchsgefährlichkeit nicht mit gebirgsbildenden Verschiebungen zusammenhängt".

Die Kohlen tektonisch zerstörter Flöze sind, und darin wird der vermeintliche Widerspruch zum Laboratoriumsergebnis begründet sein, wenn auch zerriebenen, so doch infolge ihrer Pressung weniger porös, dichter, lettig verschmiert, oft auch an sekundärer Asche reicher. So hat beispielsweise das im Ostfeld höchst ausbruchsgefährliche Wenzeslausflöz der gleichnamigen Grube einen Aschengehalt von 32 vH. (12, 43), das dort ebenfalls gefahrvolle 3. und 5. Wilhelmflöz einen solchen von 24 bis 42 vH. (12, 43). All dies sind Eigenschaften, die ihre Entgasungsmöglichkeit einengen, obwohl

*) Dieser Zahlenhinweis sowie alle folgenden beziehen sich auf die in der Literaturübersicht unter der gleichen Nummer genannte Arbeit.

sonst zermürbte Kohlen, wie die Versuche von Ruff (28) beweisen, eine hohe Entgasungsgeschwindigkeit entwickeln.

In solchen zur Vorsicht mahnenden erdigen Flözzonen sind die Ausbruchsorte, wie zwar nicht stets, so doch in den meisten Fällen(43) beobachtet wurde, an das Vorhandensein von Störungen, Verdrückungen oder Stauchungen gebunden. Eine Erklärung hierfür vermögen vorläufig Physik und Chemie nicht zu geben, denn es ist nicht anzunehmen, daß an diesen örtlich eng begrenzten Stellen ein gegenüber der näheren Umgebung höherer Gasgehalt oder -druck vorhanden sei. Der letztere hätte sich in den langen geologischen Zeiträumen längst ausgleichen müssen. Auch Unterschiede hinsichtlich der gelösten CO_2-Menge sind nicht möglich, da, wie Ruffs Versuche(28) nachgewiesen haben, die gelöste Gasmenge bei gleichem Druck und gleicher Temperatur im wesentlichen die gleiche bleibt.

Das Kriterium für das Eintreten der Ausbrüche vermutet Ruff in strukturellen Unterschieden innerhalb des Flözes. Er nimmt eine im Bereich des Eruptionsherdes vorhandene Anreicherung von Feinkohle in dem Maße an, daß die für sie charakteristische große Entgasungstendenz beim Herankommen der Grubenbaue einen Ausbruch herbeiführt. Die Feinstruktur des Nestes braucht nicht primärer Natur zu sein, sondern soll durch eine mikroskopisch kleine Gefügezerrüttung infolge der Erschütterungswellen der Sprengschüsse(30) veranlaßt werden.

Soviel auch für diese Gedankengänge zu sprechen scheint, es bleibt auffallend, daß es noch nie solche Feinkohlennester nachzuweisen gelang, wie auch, daß in den hinsichtlich ihrer CO_2-Verhältnisse einigermaßen gleich bleibenden Flözpartien nur hin und wieder eine Eruption ausgelöst wird. Die Ausbrüche in Schrämbetrieben ohne jede Schießarbeit, in Streckenorten bei der Verwendung von drehend arbeitenden Vortriebmaschinen usw. bleiben wegen der hierbei minimalen Erschütterungen unerklärt. Das gleiche gilt für die Tatsache, daß in Streben, obwohl in ihnen ein Vielfaches der in Strecken abgetanen Schüsse fällt, nur der geringste Prozentsatz aller Ausbrüche eintritt. Selbst die Annahme einer primären Feinkohlenanreicherung ist unwahrscheinlich, denn man darf nicht erwarten, mit den Aus- und Vorrichtungsstrecken (sie stellen die überwiegende Ausbruchsanzahl) immer gerade die eine Ausnahme bildenden Nester zu treffen. Der Verfasser schließt sich daher, durch die eigene Beobachtung von vielen Ausbrüchen bestärkt, der oft gehörten Ansicht der niederschlesischen CO_2-Betriebsbeamten an, die den hohen Feinstkohlengehalt der Auswurfmasse nicht als Ursache, sondern als Wirkung des Ausbruches ansehen. Ist es doch in den von Gaseruptionen heimgesuchten Flözen fast stets ohne Anstrengung möglich, durch Reiben der anstehenden Flözkohle zwischen den Händen den gleichen Feinheitsgrad herzustellen, wie ihn die Ausbrüche liefern.

Zusammenfassend geht aus den bisherigen Betrachtungen hervor, daß die Geologie imstande sein mag, dem Bergmann die ihm empirisch bekannte Verbreitung der CO_2 klar zu machen, daß vorläufig aber Physik und Chemie nicht auszureichen scheinen, ihm das Zustandekommen aller Ausbrüche zu erklären.

2. Die neue Theorie.

a) Chemisch-physikalische Grundlage.

Um an diese Frage herangehen zu können, ist es zunächst erforderlich zu wissen, unter welcher Spannung bzw. in welcher Menge und Form das Kohlendioxyd im unverritzten Flöz vorhanden ist. Die früher in diesem Punkt rein spekulativen Anschauungen sind durch die genannten Arbeiten von Ruff auf wissenschaftliche Basis gestellt worden. In Zahlentafel 1 sind vier seiner zahlreichen Messungen zusammengestellt.

Zahlentafel 1. Ruff-Tabelle.

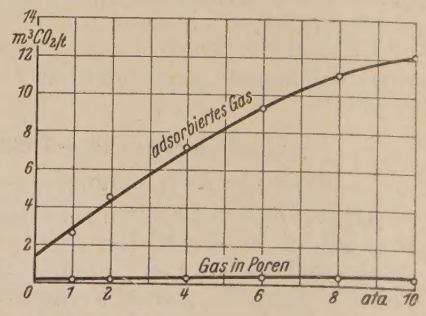
Kohle	Poren-Vol.	bei 1 Atm.			bei 2 Atm.			bei 4 Atm.			bei 6 Atm.			bei 8 Atm.			bei 10 Atm.		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1. Rubengrube, Röschenflöz .	0,102	2,4	0,1	2,5	4,0	0,2	4,2	5,8	0,3	6,1	7,0	0,6	7,6	8,1	0,9	9,0	9,3	1,0	10,3
2. Wenzeslausgrube, 3. Wilhelmflöz	0,056	2,6	0,1	2,7	4,5	0,2	4,7	7,1	0,3	7,4	9,3	0,4	9,7	11.0	0,4	11,4	12,1	0,5	12,6
3. Wenzeslausgrube, Wenzeslausflöz	0,050	3,0	0,1	3,1	5,2	0,2	5,4	8,6	0,3	8,9	10,9	0,3	11,2	12,4	0,6	13,0	13,7	0,6	14,3
4. Aktivkohle	—	—	—	20,0	—	—	35,0	—	—	55,0	—	—	70,0	—	—	83,0	—	—	94,0

a = chemisch gebunden; b = in Poren; c = gesamt.

Aufspeicherung von CO_2 für verschiedene Ueberdrücke in m^3/t Kohle bei 21° C.

Der größte Teil der aufgenommenen Gasmenge (90 bis 95 vH.) ist, wie in Abb. 2 (Ruff-Kurve) graphisch dargestellt ist, gebunden. Der verbleibende Rest steht in den Hohlräumen der Kohle (Poren, Spalten usw.) unter dem dem Gas aufgezwungenen Druck frei an. Die Aufnahmemenge ist eine Funktion des über der Lösung stehenden Druckes und ist umgekehrt proportional der Temperatur des Lösungsmittels. Sie ist unabhängig von der Korngröße, wohl aber wird mit fortschreitender Kornfeinheit die Aufnahme- bzw. Entgasungsgeschwindigkeit (30) gesteigert. Mit zunehmender Temperatur fällt die gelöste Gasmenge und umgekehrt.

Abb. 2.



Kohle Nr. 2 der Zahlentafel 1.

Man sieht aus der Ruff-Kurve, daß im Bereich niederer Drücke eine starke, sich allmählich ver-

flachende Lösungsfähigkeit vorhanden ist, die mit etwa 10 bis 12 atü nahezu erschöpft scheint[1]). Praktisch dürfte an diesem Grenzpunkt die Sättigung erreicht sein. — Ruff weist weiterhin zwei Erscheinungsformen der CO_2 im Flöz nach, eine gebundene und eine freie Phase. Wenn bei den Proben Nr. 2 und 3 der Ruff-Tabelle trotz einer Drucksteigerung von 1 auf 10 atü der Poren-CO_2-Anteil nur von 0,1 auf 0,5 bzw. 0,6 m³/t steigt, so erklärt sich dies aus der schon zwischen 2 und 4 atü einsetzenden Kapillarkondensation. Nimmt man eine Steigerung des umgebenden CO_2-Druckes bis zum Verflüssigungsdruck vor, so kann zwar keine Steigerung der gelösten CO_2-Menge erzielt werden, wohl aber muß die Kondensation der frei in Poren, natürlichen Schlechten usw. anstehenden CO_2 eintreten. Im allgemeinen wird man sich über das Größenmaß der dann vorhandenen Mengen an freier CO_2 täuschen. Eine Berechnung diene zu seiner Ermittlung. Nimmt man nach den Versuchen von Ruff für kompakte Kohle ein spez. Gewicht von 1,38, für gewöhnliche Kohle ein solches von 1,25 (als minimaler Wert zu betrachten) an, so ergibt sich als Porenvolumen: $\frac{1{,}38 - 1{,}25}{1{,}38} \cdot 100 = 9{,}4$ vH. Hohlraum. 1 m³ Kohle enthält also 94 l flüssige CO_2. Bei 18° C sind 94 l flüssige $CO_2 = 94 \cdot 0{,}79 = 74$ kg bzw. $\frac{74 \cdot 24}{44} = 40{,}4$ m³ freie CO_2/m³ bzw. $\frac{40{,}4}{1{,}25} = 32{,}3$ m³ freie CO_2/t Kohle. — Die Annahme einer häufig größeren Dichte, d. h. die Existenz geringerer Mengen an freier CO_2 ist durchaus berechtigt, denn das an Ruff gegebene spez. Gewicht gewöhnlicher Kohle von 1,25 ist eine aus einem rohen Grubenversuch ermittelte Betriebszahl (maßgebend aber ist die zweite Dezimalstelle), die außerdem aus einem nur 1,25 m tiefen Bohrloch stammt, also völlig entspannter, aufgelockerter und von Abbauschlechten durchsetzter Kohle entnommen ist. Der Verfasser hält in belasteter, zerquetschter, ausbruchsgefährlicher Kohle ein oft nur halb so großes Porenvolumen als die oben errechnete Größe für sehr wahrscheinlich.

b) Bergmännische Beobachtungen.

Die gebundenen CO_2-Mengen scheinen, wenigstens bei den Kohlen des gleichen Bezirks (vgl. Zahlentafel 1), keinen sonderlich großen Schwankungen unterworfen zu sein. Dagegen wird die freie CO_2 im Bereich der Kondensation bei gleichen Drücken und Lösungsmengen wegen ihrer linearen Abhängigkeit vom jeweiligen Porenvolumen für die Gesamtaufnahme ausschlaggebend und kann dann sehr große Schwankungen ergeben (vgl. Zahlentafel 2, letzte Spalte). Der Betriebsmann hat stets den Eindruck gehabt, daß gute, d. s. feste, aschenarme, poröse Flöze erheblich mehr Gas geben als minderwertige. Muß man nicht, um diese Beobachtung erklären zu können, nun rückwärts den Schluß ziehen, daß man es im unverritzten Gebirge wohl mit CO_2-Spannungen aus dem Bereich des Verflüssigungsdruckes zu tun haben wird?

Schwierig ist es, ein direktes Maß für die dort vorhandenen Gasspannungen zu bekommen. Vorläufig läßt sich unter der Annahme ursprünglich sehr hoher Aufladungsdrücke seitens der juvenilen CO_2 nur so viel sagen, daß der jetzt noch mögliche Höchstdruck in größeren Teufen, für die der Entgasungswegwiderstand nach Uebertage praktisch unüberwindlich ist, bei flach einfallenden Flözen nicht den jeweiligen Schweredruck übersteigen wird. Wo dies ehedem der Fall gewesen ist, muß, flache Lagerung und nachgiebiges Deckgebirge vorausgesetzt, ein Anheben der überlagernden Sedimente und damit ein Abfallen des CO_2-Druckes bis auf den Gegendruck, d. i. der Schweredruck, erfolgt sein. Dringt dagegen das Kohlendioxyd auf steilen Sprüngen u. dgl. auf, in denen ein seitliches Nachgeben wegen der sonst einsetzenden Massenstauung unmöglich ist, so können große, die Schwerelast übersteigende Gasspannungen bis in geringere Tiefen empordringen. Besonders ist diese Möglichkeit dort gegeben, wo heute noch tätige CO_2-Zufuhrspalten das Gebirge durchsetzen. Eine solche muß man beispielsweise im Ostfelde der Wenzeslausgrube (Bittnerberg-Verwerfung und ihre Ausläufer) annehmen. In jedem Flöz, in welcher Teufe sich auch dessen Abbau dieser Region näherte, wuchs stetig die CO_2-Führung und damit die Anzahl der Ausbrüche. — Auch die Uebertageentgasung ist imstande, infolge wechselnder Porosität der Kohle, des Nebengesteins und des Deckgebirges, große Differenzen im Gasgehalt innerhalb derselben Tiefenlage herbeizuführen.

Durch Analysierung des Wetterstromes hat man für Wenzeslausgrube je Tonne Förderung 18,5 m³, für Rubengrube etwa 20 m³ (42) entgaste CO_2 errechnet. In diesen Zahlen darf man nicht die den effektiven Wert herabdrückenden Meßfehlermöglichkeiten übersehen. In ihnen sind z. T. die Wettermengen CO_2-reicher und -armer, gut und schlecht entgasender Betriebe enthalten. Soweit diese Messungen in geringer Tiefe vorgenommen wurden, fehlt ferner darin der mächtige Entgasungsstrom nach der Erdoberfläche. Wie wesentlich dieser Faktor sein kann, ergibt sich allein aus der Tatsache, daß in den oberen Sohlen die Grubenentgasung „merklich zunahm“ (41), wenn nach regenreichen Zeiten durch Verstopfung der Poren und Spalten der Tagesoberfläche mit Wasser der Entgasungsstrom etwas behindert wurde. Immerhin haben diese durch lange und sorgfältige Messung erhaltenen Werte, soweit sie nur die Gasentwicklung eines in Förderung stehenden Strebes umfassen, eine große Bedeutung. Sie lassen sich nach Berücksichtigung einiger Umstände wohl allein durch die Existenz hoher CO_2-Drücke erklären. Die schlesische Entgasung beträgt rd. 20 m³ CO_2/t anstehender (!) Kohle. Bei Atmosphärendruck hat man nach Ruff (30) mit rd. 4 m³ CO_2/t steten Inhalt zu rechnen. Nimmt man ferner den Entgasungsverlust von frisch gewonnener Kohle bis zu ihrem konstanten Gasgehalt ebenfalls mit nur 4 m³/t an (eine niedrige Schätzung), so ergäbe sich ein schlesisches Mindestvolumen von $20 + 4 + 4 = 28$ m³/t. Die Lösungsfähigkeit beträgt nach den Ruffschen Forschungen (Zahlentafel 1 und Abb. 2) etwa 12 bis 14 m³ CO_2/t Kohle. Die restlichen 15 m³/t werden von der expandierenden freien CO_2 entwickelt, die bei einem Porenvolumen des unverritzten Flözes von rd. 5 vH. (vgl. Kapitel B 2a) den flüssigen Aggregatzustand der freien CO_2 voraussetzen. Es ist dies

[1]) Diese Annahme ist nach Fertigstellung der vorliegenden Arbeit durch die neuesten Versuche von Ruff bewiesen worden.

ein deutlicher und zahlenmäßig gut belegter Hinweis auf die CO_2-Verhältnisse im jungfräulichen Feld.

Weniger aufschlußvoll für den hier verfolgten Zweck ist die Angabe (43): 4,5 bis 9,6 m³ Ausbruchgas/t Ausbruchmasse, da diese Zahlen von Ausbrüchen in der durch Abbauwirkungen beeinflußten Flözzone stammen. Falls es sich bei ihnen stets um echte Ausbrüche handelt und nicht etwa um einen sogenannten „starken Schuß", d. i. ein teilweises Auslaufen des Kohlenstoßes, muß erwähnt werden, daß diese Werte wohl sämtlich nur bei sehr kleinen Ausbrüchen (meist in Unterwerken) festgestellt wurden. Sie dürften auch insofern etwas niedrig gegriffen sein, als die bei kleinen Eruptionen mengenmäßig bedeutende, praktisch aber bereits entgaste Stoßzone mit im Auswurfgut erscheint. Es fehlen ferner die bei der lang anhaltenden Nachentgasung frei werdenden Mengen, die in ihrer Größe nicht unterschätzt werden dürfen (s. Ausbruchbeispiel Wenzeslausgrube Neues Flöz!). Man denke schließlich an die zahlenmäßig nicht zu erfassende Vermischung der Ausbruchgase mit der Grubenluft, an die vom Wetterstrom vor Beginn einer Messung weggeführte Gasmenge usw. Die der Literatur entnommenen, in Zahlentafel 2 zusammengestellten Werte (42) der bei Ausbrüchen ausgeworfenen Kohlen- und CO_2-Mengen wurden vorwiegend in Ausrichtungs- oder weit vorgeschobenen Streckenbetrieben festgestellt. Obwohl für sie die eben genannten Meß- und Schätzfehlermöglichkeiten noch in größerem Umfange gelten mögen, passen sie in ihrer Größenordnung recht gut zu dem aus der Entgasung errechneten CO_2-Gehalt.

Zahlentafel 2.

Grube	Ausbruchdatum	Ausbruchmenge an Kohle in t	CO_2 in m³	m³ CO_2/t Kohle
Carl-Viktor-Grube (Schles.)	24. XI. 24	224	10 000	40
Rubengrube	18. V. 14	60	1 800	30
Desgl.	11. IV. 15	300	10 000	30
Rochebelle (Frankreich) .	28. VII. 79	76	2 900	40
Desgl.	3. XI. 84	25	1 400	58
Desgl.	25. IV. 85	405	12 000	30
Bessèges (Frankreich) . .	10. I. 90	24	800	32

Die in vielen Gasausbruchgruben gepflegten Druckmessungen in 2 m tiefen Bohrlöchern mit Hilfe des bekannten Englerschen Apparates werden von den Leuten der Praxis sehr geteilt bewertet. Die Erfahrung lehrt, daß sie als Einzelmessung kaum ein Maß für die CO_2-Führung und -Ausbruchgefahr des Flözes geben. Die Franzosen gehen aus psychologischen Gründen sogar so weit, daß sie diese Messungen nicht mehr vornehmen (31), um nicht die Belegschaft durch das Ablesen eines niedrigen Druckes, der oft genug eine Steigerung der Ausbruchgefahr bedeutet, in ein trügerisches Gefühl der Sicherheit zu wiegen. Dann allerdings muß man dem Englerschen Apparat eine Bedeutung als Warner zusprechen, wenn mit ihm in einem Bohrloch, das kurz vor der Sprengung steht, noch ein größerer Gasdruck gemessen wird.

Wertvoller ist Zahlenmaterial, das tieferen Bohrlöchern entstammt, die die Druckschlechten- und sonstig beeinflußte Zone durchörtern. v. Bubnoff (6) nennt einen im Werratal gemessenen CO_2-Druck von mehr als 34 atü. Berens gibt im Heise-Herbst aus England CH_4-Drücke von oft14 bis max. 31 atü, aus Belgien in 3 bis 12 m tiefen Löchern öfters 25 bis 30 atü, in einem Fall sogar auf Grube Belle-Vue 42 atü Gasdruck an. Wenn es sich auch bei diesen ausländischen Daten um Methandrücke handelt, so zeigen sie doch, daß es nicht heißt, den Boden der Tatsachen verlassen, wenn man Gasspannungen von 30 bis 40 und mehr atü als gelegentlich vorhanden annimmt.

Es gibt sogar im niederschlesischen CO_2-Revier einen direkten Beweis für die Existenz so hoher Drucke. Im Jahre 1910 wurde in einem CO_2-Flöz des Ida-Schachtes in Waldenburg (42) zum bisher einzigen Male zu Studienzwecken ein Bohrloch im Flözfallen niedergebracht. Es wurde mit einem Spülwasserdruck von über 20 atü gearbeitet. Beim Durchbohren einer Störung (C_2O-Zubringer) in 50 m Lochtiefe wurde das Spülwasser zurückgedrängt, der Verbindungsschlauch platzte und „Kohlensäure floß wie eine weiße, schwere Flüssigkeit aus dem Bohrloch heraus". Daß das, was den Spüldruck von 20 atü überwand, nur der CO_2-Druck gewesen sein kann, ist wohl nicht zu bestreiten. Bekanntlich soll ein Schlauch für 20 atü Betriebsdruck mit etwa fünffacher Sicherheit, also mit 100 atü Reißfestigkeit eingebaut werden. Selbst bei der übertriebenen Annahme eines 50%igen Verschleißes verbleibt eine solche von 40 bis 50 atü. Der im vorliegenden Falle vorhanden gewesene Gasdruck muß also mindestens diese Zerreißspannung gehabt haben. Bei der „schweren, weißen Flüssigkeit" kann es sich allerdings nicht um reine flüssige CO_2, sondern um mit CO_2-Schnee durchsetztes und von Kondensationsnebeln umgebenes Spülwasser gehandelt haben. Bei der Gefährlichkeit der Situation ist diese Unexaktheit in der Feststellung verständlich.

Weiterhin ist charakteristisch ein im April 1929 erfolgter CO_2-Ausbruch auf Wenzeslausgrube beim Anfahren des Neuen Flözes mit dem Querschlag bei 2400 m der 3. Sohle gegen Norden. Die Kohlenauswurfmasse betrug rd. 500 t = 350 m³, der bis zur Dammtür verfügbare Expansionsraum etwa 1700 m³. Ein hinter der Dammtür ansetzender offener Wetterweg war vorhanden. Die Dammtür, auf 150 atü geprüft, war in 1,5 m starkes Zementmauerwerk eingesetzt. Mit dem zweiten Ausbruchstoß wurde der Gasdruck so groß, daß die Mauerfeuchtigkeit des Türdammes als feiner Sprühregen von 20 bis 25 cm Spritzweite aus der Mauer herausgepreßt wurde. Dabei schlug der Manometerzeiger so kräftig gegen seinen Anschlag bei 3 atü, daß er sich völlig verbog. Der Betriebsführer öffnete den Druckmesser und richtete den Zeiger wieder gerade. Noch $1^1/_2$ Std. lang wurden an der Tür etwa $2^1/_2$ atü Nachentgasungsdruck abgelesen. Erst nach weiteren 7 Std. sank dieser Druck auf 1 atü. Nimmt man an, der an der Dammtür aufgetretene Druck habe anfangs nur 4 atü betragen, so ergibt sich unter Berücksichtigung der Expansion aus 350 m³ Kohle auf 1700 m freibleibendes Querschlagsvolumen ein CO_2-Gehalt von $4 \cdot \frac{1700}{350}$ = rd. 20 m³ CO_2/m³ Kohle. Die sehr großen Mengen der Nachentgasung sind hierbei, da für sie kein Anhalt besteht, nicht eingerechnet.

Auch sei hier des bisher größten CO_2-Ausbruches gedacht, der im Juli 1907 beim Schachtabteufen auf

der Grube Nord d'Alais eintrat (41). $1^1/_2$ Std. lang stand eine fast 40 m hohe Staubsäule über dem Schacht, wobei 4000 t Kohle ausgeworfen wurden. Nähme man auch hier einen Gasdruck von nur 10 atü im Flöz und sogar ein völliges Freiwerden des für diesen Druck geschätzten Gasgehaltes von max. 20 m³/t Kohle (vgl. Abb. 2) an, so wären innerhalb der beobachteten $1^1/_2$ Std. $4000 \cdot 20 = 80000$ m³ Gas bzw. $\frac{80\,000}{5400} = 15$ m³ CO_2/Sek. ausgebrochen. Bei einer Schachtscheibe von 19 m² müßte somit im Schacht eine Gasgeschwindigkeit von 15/19 = rd. 0,8 m/Sek. vorhanden gewesen sein. Um eine Wurfhöhe von etwa 40 m zu erreichen, benötigt man aber nach den Fallgesetzen, vom Luftwiderstand ganz abgesehen, eine Anfangsgeschwindigkeit von min. 25 m/Sek. Damit ist durch Vergleichszahlen bewiesen, daß die geschilderten Erscheinungen nicht mit den bei 10 atü vorhandenen CO_2-Mengen auszulösen sind.

Als letztes Beispiel sei ein kleiner, eigenartiger Ausbruch auf Rubengrube vom 4. Dezember 1926 genannt. Bei einem Untersuchungsbohren im Flöz brach bei 5 m Lochtiefe (Lochdurchmesser etwa 70 mm) plötzlich ein Kohlenstaub-CO_2-Gemisch hervor. Das Bohrloch war etwa horizontal in 1 m Höhe über der Streckensohle abgebohrt. Das Ausbruchgut schoß als scharfer Strahl aus der Lochmündung hervor und berührte 20 m davon entfernt die Sohle. Das Haufwerk soll so ausgesehen haben, als sei Feinkohle mit Wasser angerührt, zum Aufschlagspunkt hingespritzt worden und sodann getrocknet. Von einer durch Gasexpansion herbeigeführten Streuwirkung soll nur wenig zu spüren gewesen sein. Diese Merkmale sprechen dafür, daß die der ausbrechenden Kohle beigemischte Kohlensäure bereits im Bohrloch flüssig gewesen ist, da andernfalls dicht vor dem Bohrlochmund ein starkes Zerstäuben des herausschießenden Strahles eingetreten wäre. Eine rechnerische Auswertung der zahlenmäßig gut belegten Grundlagen dürfte jedoch wertlos sein, da schon geringe Abweichungen der Bohrlochneigung gegenüber der Horizontalen völlig andere Werte liefern.

Es wurden absichtlich, bis auf das letzte, nur Beispiele aus solchen Ausrichtungs- bzw. Bohrbetrieben gewählt, in denen man annehmen darf, das Gas in seinem anfänglichen Spannungszustande, unbeeinflußt von den die Entgasung beschleunigenden Abbauwirkungen, vorzufinden. Schließlich sind aus der Fülle des Materials für die Erforschung der Verhältnisse im Unverritzten nur die Fälle brauchbar, die auf Grund besonderer Beobachtungen einen Anhalt für die Größenordnung der freiwerdenden Energien geben. All diese Ausbrüche verraten aber weit größere Gasmengen und damit Spannungen, als man bisher annahm.

c) Gasdurchlässigkeit der Kohle.

Gegen diese Folgerung wird der Einwand erhoben werden, daß für Drücke von schätzungsweise 40 bis 50 atü die Durchlaßfähigkeit der Kohle zu gering sei, um die dann vorhandenen CO_2-Mengen jemals ohne Eruption durchzusetzen; man müsse bei einem flotten CO_2-Streckenvortrieb (1,0 m/Tag) stets Ausbrüche bekommen. Eine Annäherungsrechnung wird zeigen, daß das nicht der Fall zu sein braucht. — Annahmen: CO_2-Druck im Unverritzten = 40 atü. Beginn des Druckes: 20 m vom Stoß, tiefer als die englischen und belgischen Bohrlöcher mit 20 bis 40 atü. Streckenvortrieb: 1,0 m/Tag. Kohle: glänzend, fest, porös, aschenarm, flott und anhaltend entgasend, also typisch ausbruchfrei. — Ruff(28) nennt die Luftdurchlässigkeit von 25 cm starkem Sandsteinmauerwerk mit 1,7 m³/Std. und 1 m² Querschnitt bei $^1/_{200}$ at Druckdifferenz. Die Durchlässigkeit eines Blockes der angenommenen Kohle sei unter gleichen Verhältnissen mit nur 1 m³ Luft/Std. angesetzt, obwohl eine so hohe Herabsetzung als übersteigert angesehen werden muß. Für CO_2 beträgt die diffundierende Menge nach dem Ausströmungsgesetz von Graham $= 1 \cdot \sqrt{\frac{30}{44}} = 0{,}83 =$ rd. 0,8 m³ (Molekulargewicht der Luft = 30; der CO_2 = 44). Durch eine 1 m starke Kohlenwand würden somit 0,2 m³ CO_2/Std. je 1 m² bei $^1/_{200}$ atü Differenz entgasen. Die Porendurchlässigkeit werde berechnet für den Flözquerschnitt in etwa 2 m Abstand vom Ortsstoß, da infolge der dort schwachen Ausbildung der Entspannungszone die normale Porosität für die Entgasung anzusetzen ist. Der dort vorhandene Gasdruck sei 1 atü, wie ihn Druckmessungen in gewachsener Kohle der gewählten Art häufig ergaben. (Die an Ruff gegebene Zahl (30), es seien in Niederschlesien nie über 1 atü gemessen worden, muß auf unvollständigen Angaben beruhen. Der Verfasser hat selbst öfters 1,5 atü und mehr gemessen.) Auf 18 m Stoßtiefe kommt somit ein Druckgefälle von 40 — 1 = 39 atü, d. h. auf 1.0 m Wandstärke (Abbaufortschritt), homogenen Strömungswiderstand vorausgesetzt, $\frac{39}{18} =$ rd. 2 atü Druckdifferenz. Das 1,0 m starke Kohlenbein ist also imstande, je m² stündlich $0{,}2 \cdot 200 \cdot 2 = 80$ m³ CO_2 passieren zu lassen. Dies wäre das stündliche „Ist" an Entgasungsfähigkeit. — Zur Diffusion brauchen aber innerhalb 24 Std., stauungsfreie Entgasung im Tempo des Streckenvortriebes, d. h. Ausbruchungefährlichkeit vorausgesetzt, nur zukommen der Gasinhalt eines Kohlenblockes von $1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$ m³ Volumen und einem CO_2-Inhalt von max · 30 bis 40 m³ bei 40 atü (nach den Entgasungs- und Ausbruchsgasmengen des frischen Feldes). Diese 30 bis im Fall 40 m³ CO_2 wären das tägliche „Soll" an Entgasungsfähigkeit. Der oben vorweggenommene Einwand erweist sich also nicht als stichhaltig.

Anderseits gibt der große Unterschied zwischen Entgasungs-„Soll" und -„Ist" insofern zu denken, als selbst bei $^1/_2$ mal niedrigerer Porenöffnung kein Gasausbruch auftreten sollte. — Entgasungs-Soll: -Ist $= 1 \cdot 40 : 24 \cdot 80$. Obwohl die Strömungswiderstände nach dem Poiseuilschen Gesetz umgekehrt zur 5. Potenz des Porendurchmessers wachsen, steigen sie bei einem Abfall dieses Durchmessers auf $^1/_2$ erst auf das 32fache, bleiben also immer noch unter dem „Ist-Faktor" von 48. — Die Durchströmungsmenge steigt linear mit der Anzahl der Poren und fällt mit der 5. Potenz ihres Durchmessers, d. h. mit fortschreitender Porenfeinheit fällt die Durchlaßfähigkeit selbst bei gleichbleibendem oder auch wachsendem Porengesamtvolumen. Ausschlaggebend für die Entgasung ist somit nicht die Gesamtporenöffnung, sondern der mittlere Porendurchmesser! — Wenn daher in

einem Flöz Ausbrüche eintreten, können für seine Kohlen die oben errechneten Zahlen nicht gelten. Man kann ihnen eine Gültigkeit als Annäherungswert nur für Kohlen ihrer Berechnungsgrundlage zumessen, d. h. wenn es sich um feste, großporige Kohle handelt. Die Möglichkeit einer Eruption bleibt für solche Kohlen gegeben, deren Durchlaßfähigkeit innerhalb der Lagerstätte erheblich geringer ist, als man dies auf Grund des Verhaltens und der Eigenschaften von fester, strukturell unveränderter Kohle oder von unbelasteten Feinkohlen annehmen kann.

C. Nutzanwendung der neuen Theorie.

1. Tiefenlage der Ausbrüche.

a) Grundlagen.

Damit sind die Fragen aufgeworfen, die diese Verschiedenheit des mittleren Porendurchmessers und damit in hohem Maße die Ausbruchfähigkeit verursachen. Es ist eine sehr auffallende Erscheinung, daß CO_2-Ausbrüche fast ausnahmslos erst ab einer gewissen Tiefe auftreten, obwohl in den darüberliegenden Feldesteilen oft Entgasungen beobachtet wurden, die mindestens so heftig waren wie in der Gefahrenregion. An Ausbruchtiefen ergeben sich die in Zahlentafel 3 zusammengestellten Werte. — Bei den sieben aus der Norm fallenden Ausbrüchen auf Wenzeslausgrube handelt es sich um einen Sonderfall insofern, als sie sämtlich im 3. Wilhelmflöz bei 2800 m-Ostfeld eintraten. Dieser Feldesteil ist am weitesten in die oben als besonders CO_2-reich gekennzeichnete Gefahrenzone nahe dem sicher heut noch tätigen Gaszubringer vorgeschoben. Die beiden etwa 180 m tiefen Ausbrüche liegen zwar weiter zurück, ereigneten sich aber beim schwebenden Umfahren eines seit mehr als Jahresfrist wegen Unbauwürdigkeit stehengebliebenen vorspringenden Restpfeilers, wo ja besondere Druckverhältnisse herrschen.

Zahlentafel 3. Ausbruchtiefen unter Tagesoberfläche.

Rubengrube[1]):	0	Ausbrüche weniger als	250 m
	403	„ mehr „	250 „
mittlere Gebirgstemperatur in 250 m = etwa 17° C			
Wenzeslausgrube[1]):	5	Ausbrüche bei 100 bis	120 m
	2	„ „ 160 „	180 „
	71	„ mehr als	220 „
mittlere Gebirgstemperatur in 220 m = etwa 16° C			
Segen-Gottes-Grube[2]):		Ausbrüche mehr als	300 „
Idaschacht[2]):		„ „ „	200 „
Sophiegrube[2]):	1	Ausbruch weniger als	200 „
	die übrigen	Ausbrüche mehr als	200 „
Rudolfgrube[2]):		„ „ „	220 „

Die vorläufig rein erfahrungsgemäß gefundene „kritische Tiefe“ ab 200 bis 250 m muß sogar von einschneidender Bedeutung sein, denn nach Ueberschreiten dieser Grenze setzen die Ausbrüche nicht allmählich, sondern in großer Zahl ein. Als Beispiel diene die deutsche typische CO_2-Grube, die Rubengrube bei Neurode. Dort ereigneten sich in dem Intervall von 250 bis 300 m Tiefe allein 149 (s. Zahlentafel 5), das sind 37 vH. aller bisherigen Ausbrüche. Wenn man auch hier dem entgegenhalten mag, daß ohne Erschütterungsschießen die Zahl der Ausbrüche wesentlich geringer sein würde, so bleibt doch die Tatsache vorhanden, daß in niederen Teufen, obwohl dort doch ebenfalls geschossen wurde, nie CO_2-Eruptionen auftraten.

Den nachfolgenden Betrachtungen sei nochmals vorausgeschickt, daß sie für frisches, vom Bergbau unbeeinflußtes Feld gedacht sind. Außer in der Umgebung von Störungen, Verdrückungen und Stauchungen mit heut noch vorhandenen geogenetischen Spannungen wird in solchem Feld bei flachem bis mittlerem Einfallen der Gebirgs- oder Schweredruck generell im gleichen Maß wie die Teufe zunehmen. Jeder cm² der Schichtenoberfläche hat die auf ihm ruhende Gesteinssäule zu tragen, da sonst kein Gleichgewicht vorhanden wäre. In der kritischen Tiefe der Rubengrube von 250 m würde also, ein spez. Gewicht des Deckgebirges von 2,3 angenommen, ein Schweredruck von 57 kg/cm² herrschen.

Welche Eigenschaften darf man bei dieser Belastung von CO_2-ausbruchgefährlicher Kohle erwarten? Morin (20) nennt als mittlere Druckfestigkeit von

Kohle	=	40 kg/cm²
mildem Schiefer	=	80 „
mittelfestem Schiefer	=	170 „
festem Schiefer	=	220 „

Müller (22) führt eine Betriebszahl von Königin-Luise-Grube, Oberschlesien, an:

frische Förderkohle	=	34 bis 44 kg/cm²
im Mittel	=	39 „
gelagerte Kohle	=	43 bis 70 „
im Mittel	=	56 „

Der auffallende Festigkeitsunterschied zwischen frischer und entgaster Kohle beruht, wie Vater (38) fand, darauf, daß die Kohlenfestigkeit mit Steigen der adsorbierten Gasmenge abnimmt, denn die Adhäsion der Kohlenmoleküle wird um so geringer, je mehr Gasmoleküle zwischen sie gelagert sind. Bei den Zahlen von Königin-Luise-Grube genügte der in der übertage untersuchten frischen Förderkohle vorhandene geringe Gasgehalt, um die Druckfestigkeit von 56 auf 39 kg/cm², d. h. um 30 vH. herabzusetzen. Außerdem ist es, wie bereits erwähnt, eine in CO_2-Betrieben allgemein bekannte Erscheinung, daß ausbruchgefährliche Kohlen weich sind. Ist ein Ausbruchflöz, wie meist beobachtet, gestört, verwalzt und strukturell zertrümmert, so darf man von seiner Kohle keinerlei Prüfstand-Druckfestigkeit erwarten. Der solche Flöze abbauende Betriebsmann weiß es, wie sehr diese Kohle in der Förderrinne geschont werden muß, wenn er am Rutschenaustrag nicht „Schnupftabak“ haben will. Aber auch eine aus petrographischen Gründen weiche und darum gefährliche Kohle wird wahrscheinlich mit ihrer Tragfähigkeit kaum die von Morin und Müller genannten Zahlen (rd. 40 kg/cm²) übersteigen. Stellt man sich solche Kohle noch bei hohem Gasdruck, wie man dies tun muß, mit CO_2 aufgeladen vor, vergegenwärtigt man sich also, daß dann je t Kohle nicht, wie in dem oberschlesischen Beispiel, etwa 4 m³ Gas (30), sondern etwa 30 m³ CO_2 vorhanden sind, dann bleibt auf Grund der Vaterschen Feststellung nur noch eine geringfügige Tragfähigkeit übrig. Gewiß, bei allseitiger Einspannung, d. h. beim Vorhandensein eines Manteldruckes (22), steigt die Festigkeit; aber nur bei sehr festen Kohlen und 250 atü Seiten-

[1]) Werksakten und Risse.
[2]) Nach Z. f. Bergwes. 1927, B 257 u. 287.

druck bis um etwa 200 vH. (23). Hat aber die Druckfestigkeit der Ausbruchkohle ohne Seitenpressung einen minimalen Wert, so wird sie sicherlich trotz des noch dazu mäßigen Manteldruckes unter 57 kg/cm², dem Gebirgsdruck in der kritischen 250 m-Tiefe der Rubengrube, bleiben.

b) Folgerungen.

Die ausbruchgefährlichen Flöze sind deshalb sicher schon von erheblich geringerer, zahlenmäßig im voraus nicht anzugebender Tiefe ab zermürbt und zusammengequetscht, haben also einen geringen Porendurchmesser. Die Grenzlinie der erhaltenen Flözstruktur stellt somit den Beginn der Zone dar, von der ab die Entgasungswege auf ein Minimum eingeengt sind, nicht aber gibt sie eine Erklärung für das plötzliche Auftreten der CO_2-Ausbrüche. Diese beginnen erfahrungsgemäß erst mit der kritischen Tiefe, dann allerdings sofort in großer Menge. Sie verlangen also für ihre Auslösung einen weiteren einschneidenden Grund. Auffälligerweise decken sich die physikalischen Verhältnisse in der kritischen Tiefe, d. s. 57 Atm. Druck und etwa 17° C Temperatur, völlig mit dem Verflüssigungsdruck der CO_2 (s. Zahlentafel 4[1])). Es bleibt eigentlich aus dieser Tatsache heraus keine andere Schlußfolgerung, als daß die kritische Tiefe wohl dasjenige Grenzniveau darstellt, von der ab die juvenile CO_2 ihren flüssigen Zustand bewahrt hat.

Die Ausbruchgefahr hängt also offenbar damit zusammen, daß dann sämtliche freie Kohlensäure noch als Flüssigkeit vorliegt (die bei niedrigen Drücken bereits stattgefundene Kapillarkondensation erfüllt nur die feinsten Poren) und ferner, daß in

Zahlentafel 4. CO_2-Verflüssigungsdrücke.

°C	Druck Atm.	Bemerkungen
0	35,54	flüssig.
5	40,50	„
10	45,95	„
15	51,93	„
20	58,46	„
25	65,59	„
30	73,34	krit. Temperatur.
35	—	gasförmig.

den typischen, kaum durchlässigen Ausbruchflözen die CO_2-Spannung dem Schweredruck gleichgestellt zu sein scheint. Man muß also annehmen, daß dort im wesentlichen die CO_2-Menge zu erwarten ist, die der Aufnahmefähigkeit für gebundene und flüssige freie Kohlensäure entspricht.

Da das Tatsachenmaterial zuzüglich der chemisch-physikalischen Erörterungen zu diesem Ergebnis führte, soll nunmehr versucht werden, ob diese Annahme geeignet ist, auch in geologischer Hinsicht ein geschlossenes Bild zu geben. Danach müßten sich folgende Vorgänge im Gebirge abgespielt haben. Vor oder während der CO_2-Intrusion wurden die meisten heute ausbruchgefährlichen Flöze durch tektonische Beanspruchungen zerrieben und zusammengepreßt, oder ihre an sich geringe Festigkeit wurde infolge der Aufladung weiter herabgesetzt und durch den Schweredruck, den „Felddruck", zerstört. Durch diese Vorgänge geriet die Porengröße in Abhängigkeit von der hangenden Last und war nicht mehr wie ehedem von den petrographischen Eigenschaften des ursprünglichen Sedimentes bestimmt. Die aufsteigende juvenile CO_2 ging, sobald ihr Wärmegrad die kritische Temperatur unterschritten hatte, in den flüssigen Aggregatzustand über. Wegen des hohen Druckes vermochte das Kohlendioxyd in die Flöze einzudringen, deckte zunächst den Lösungsbedarf, füllte dann die vorhandenen Hohlräume aus und weitete mit dem nachdringenden Ueberschuß die Poren so weit auf, als dies jeweilig Ueberdruck und Menge gegenüber dem Felddruck vermochten. In den dadurch vergrößerten Kohleporen und dem sonstigen durchlässigen Nebengestein drang es, meist durch undurchlässige Deckschichten am kürzesten, senkrechten Aufstieg verhindert, schwebend aufwärts, bis es an der Erdoberfläche in die Atmosphäre übertrat. Selbst mit einem Aufhören der Tiefenzufuhr kann der Entgasungsabgang von der in den aufgetriebenen Poren anstehenden CO_2 gedeckt werden. Die Entgasungsgeschwindigkeit verlangsamt sich in diesem Falle mit dem Flacherwerden des Druckgefälles und dem Sinken des mittleren Porenquerschnittes immer mehr. Der Porenschrumpfungsprozeß und damit eine merkliche Uebertage-Entgasung dauert nur so lange, bis die vor der Intrusion vorhandene oder durch sie veranlaßte, vom Schweredruck diktierte Dichte mit ihrem maximalen Wegwiderstand[1]) wieder erreicht ist. Dabei werden in den heute typisch ausbruchgefährlichen Flözen mit ihrem hohen Aschengehalt die plastischen Tonbestandteile in die zwischen den reinen Kohlekörnchen verbleibenden winzigen Oeffnungen so lange gequetscht, bis sie nicht mehr nachgeben, d. h. an der freien CO_2 den gleichen Gegendruck finden, der auf sie selbst wirkt. Durch diese Porenverklebung verliert die freie CO_2 und mit ihr die gelöste, verschärft durch die Flachheit des Druckgefälles nach übertage, fast jede Bewegungsmöglichkeit. Weiterhin wirken sich die kondensierenden Kapillarkräfte äußerst hemmend aus. Daß beim Fehlen einer Stoßauflockerung infolge von Abbauwirkungen, d. h. daß in stärker komprimierter Kohle selbst bei einem ungleich steileren Druckgefälle als im unverritzten Gebirge praktisch jede CO_2-Wanderung aufhört, wird durch das aus Abb. 9 ersichtliche Beispiel bewiesen. Das Kohlendioxyd steht infolge dieser Druckabriegelung von der Tiefe, in der der Felddruck den CO_2-Verflüssigungsdruck übersteigt, d. i. von der „kritischen Tiefe" ab, heute noch selbst in den ihm verbliebenen größeren Schichtfugen flüssig an, und zwar unter einer Spannung, die gleich dem jeweiligen Gebirgsdruck ist. Dagegen ist es oberhalb dieser Grenzfläche wenigstens in gröberen Poren gasförmig, also viel beweglicher und darum auch entgasungsfähig. In der Uebergangszone aus einem Aggregatzustand in den anderen wird die gegenüber der „theoretischen" kritischen Tiefe etwas größere „praktische" kritische Tiefe begründet sein. Der flüssige Aggregatzustand kann natürlich nur so lange vorliegen, als Gebirgs- und CO_2-Temperatur die kritische Temperatur des Kohlendioxydes nicht überschritten hat (etwa 30° C). Jenseits jener Grenzlinie wären daher im Fall wieder Abbauverhältnisse ohne typische Ausbruchgefahr zu erwarten.

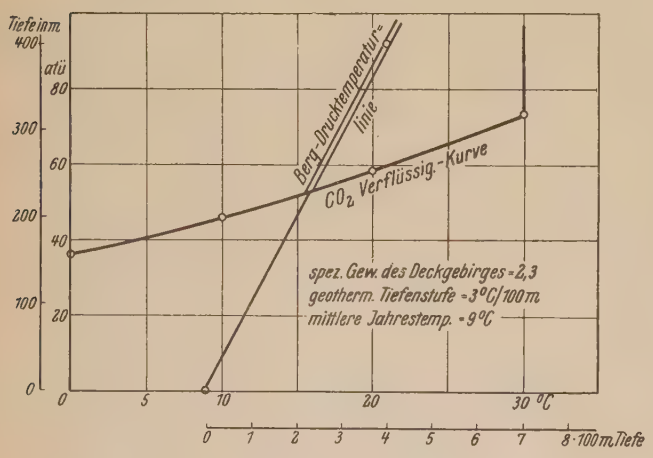
[1]) Nach Landolt-Börnstein, Ergbd. II, S. 1296.

[1]) Poiseuilsches Gesetz.

Durch die Annahme flüssiger CO_2 erklären sich viele Beobachtungen. Die für gasförmiges Kohlendioxyd recht schwerfällig anmutenden, häufig an die Zonen der Wasserzirkulation gebundenen Zugangswege (nach den Arbeiten v. Bubnoffs) gewinnen an Wahrscheinlichkeit. Die mit niedrigen Drücken unerklärlichen Energieauslösungen bei charakteristischen Ausbrüchen werden durch hohe Gasspannungen erklärt. Die in Zahlentafel 2 zusammengestellten Ausbruchgasmengen je Tonne ausgeworfener Kohle und die schlesischen Entgasungszahlen stimmen in ihrer Größenordnung vorzüglich zu den nunmehr anzunehmenden Werten.

Die Annahme, daß durch den flüssigen Zustand der freien CO_2 ein Strömen durch eine minimale Porenöffnung praktisch unmöglich wird, ist durchaus berechtigt, da die Diffusion im gleichen Maße fällt, wie die Viskosität steigt, die bei Flüssigkeiten ungleich größer ist als bei Gasen. So ist es ein bekannter Schulversuch, daß man durch einen Ziegelstein hindurch eine Kerze ausblasen kann, daß aber anderseits schon merkliche Drücke aufgewendet werden müssen, wenn Wasser durch ihn gepreßt werden soll. Das theoretisch gefundene „Entgasungs-Ist" der Kohle besteht in gefährlichen Flözpartien nicht, denn der in der drucküberlasteten, gepreßten Kohle vorhandene Porendurchmesser, angefüllt mit flüssiger, unbeweglicher CO_2, läßt trotz des nach einem Grubenbau zu steilen Druckgefälles nur geringe Mengen diffundieren.

Abb. 3.



Nunmehr werde noch die in Zahlentafel 3 empirisch gefundene und dann geologisch abgeleitete „kritische Tiefe" auch graphisch festgelegt. Die in Abb. 3 dargestellten Kurven sind in ein Temperatur-Druck-System eingeordnet. Die CO_2-Verflüssigungskurve ist lediglich eine graphische Darstellung der Zahlentafel 4. Die Temperatur-Ordinate besitzt eine zweite Teilung nach der Tiefe (Gebirgstemperatur mit fortschreitender Tiefe), wobei als mittlere Jahrestemperatur 9° C und als geothermische Tiefenstufe 3° C/100 m eingesetzt wurden. Im Betriebe muß man dafür Durchschnittstemperaturen messen, da in CO_2-Gruben sich der Einfluß der Entgasung abkühlend bemerkbar macht. Die Druckabszizze besitzt ebenfalls eine Tiefenskala (Gebirgsdruck mit fortschreitender Tiefe), wobei als spez. Gewicht des Deckgebirges 2,3 gewählt wurde. Die Bergdruck-Temperaturlinie gibt für die einzelnen Tiefen den jeweiligen Schweredruck und zugleich die Gebirgstemperatur (auf den entsprechenden Hauptteilungen) und damit den Zustand der freien CO_2 an. Der Schnittpunkt dieser Linie mit der CO_2-Verflüssigungskurve stellt den oberen Grenzwert der kritischen Tiefe für solche Gruben dar, die die aus Abb. 3 ersichtlichen Voraussetzungen erfüllen. Die untere Grenze liegt bei etwa 700 m Tiefe.

Für Zechen mit kleinerer geothermischer Tiefenstufe oder geringerem spez. Gewicht des Deckgebirges verläuft die Bergdruck-Temperaturgerade flacher. Der Einsatz der kritischen Tiefe muß tiefer liegen. Für den in Abb. 3 dargestellten Fall liegt er bei rd. 230 m. Wenn die Ausbrüche erst in etwas größerer oder in kleineren Tiefen einsetzen, so mag dies außer an Abweichungen gegenüber den physikalischen Voraussetzungen des Kurvenblattes an dem Unterschied zwischen praktischer und theoretischer kritischer Tiefe liegen.

Ein wesentlich tieferer Ausbruchbeginn ist in tektonisch nicht zerstörten Flözen mit fester, aschenarmer Kohle möglich, da dort die Druckfestigkeit noch nicht überschritten wurde. Die ursprüngliche petrographische Porenöffnung kann wegen ihrer guten Entgasungsfähigkeit die CO_2 in poröses Nebengestein ableiten, senkt somit den CO_2-Flüssigkeitsspiegel und hält dadurch das Flöz ausbruchfrei.

Die sieben aus dem Schema fallenden Ausbrüche im 3. Wilhelmflöz bei 2800 m der Wenzeslausgrube sind bereits durch ihre Sonderstelluug erklärt. Die in den französischen Revieren, speziell im Brassac-Becken, beobachteten geringen Ausbruchtiefen hängen jedenfalls mit der dort ungleich stärkeren CO_2-Führung des Gebirges zusammen. Wie bereits v. Bubnoff (6) annimmt, erfolgt in diesen Bezirken heute noch hauptsächlich längs der Sevennen-Störung ein Nachschub juvenilen Kohlendioxydes. Der CO_2-Flüssigkeitsspiegel wird nicht, wie meist in Schlesien, durch den Schweredruck des Gebirges erhalten. Er wird durch den Nachschub so weit in die Höhe gedrückt, bis die Durchlässigkeit des Deckgebirges infolge Steigerung des Druckgefälles so groß geworden ist, daß die diffundierenden Mengen den nachgeführten flüssigen Mengen gleichkommen. Die Entgasung nach übertage nimmt deswegen für deutsche Verhältnisse unbekannte Ausmaße an. Sie tritt beim Brunnenbohren, beim Grabenziehen, in den Quellen, kurz bei allen nur denkbaren Gelegenheiten in Erscheinung. Bei andauernder Aufladung des Gebirges wird die Existenz einer kritischen Tiefe für das Entstehen von Ausbrüchen belanglos. Ob jedoch nicht allein Seitenpressungen auf das Karbon durch Gebirgszüge aus schweren Tiefengesteinen genügen sollten, um auch in geringeren Grubenteufen Felddrücke aus dem Bereich des CO_2-Verflüssigungsdruckes zu erzeugen, bleibe unberücksichtigt.

2. Die Kohlensäureverteilung im Kohlenstoß.

a) Bergmännische Beobachtungen.

Die bisherigen Betrachtungen galten für frisches Feld bzw. für die Flözpartien jenseits der Beeinflussungszone durch die Grubenbaue. Nunmehr soll untersucht werden, bis in welche Nähe der Betriebspunkte die durch die erörterten Verhältnisse flüssige Kohlensäure, d. h. hohe CO_2-Spannungen und damit großer CO_2-Inhalt, zuweilen vordringen mögen. Hierzu dienen eigentümliche Temperatur-

beobachtungen aus 2 m tiefen Bohrlöchern, die erfahrungsgemäß für große Ausbruchgefahr charakteristisch sind, in der Literatur aber nur selten erwähnt wurden. Man sollte annehmen, daß in den wenn auch höchstens einige Stunden, so doch sehr stark entgasenden Löchern — es sind die der höchsten Ueberdrücke — wegen des dort großen Lösungs- und Expansionswärmebedarfes die größten Unterschiede zwischen der Bohrloch- und Außentemperatur festgestellt worden wären. Dem ist aber keineswegs so. Bei dem für schlesische Verhältnisse hohen Ueberdruck von $1{,}_5$ Atm. betragen die Wärmedifferenzen im Mittel nur 2 bis 4° C. Dagegen wurden in schwach, aber anhaltend entgasenden Löchern mit nicht meßbarer oder minimaler Gasspannung öfters Unterschiede von 5 bis 10° C und mehr gemessen.

Beispiele hierfür:

1. Wenzeslausgrube, Streb Wenzeslausflöz, 2. bis 3. Sohle bei 2750 m (sehr ausbruchgefährlich).
   Mehrere Löcher: $0{,}_0$ bis $0{,}_1$ atü.
   Temperaturdifferenz: 2 bis 8° C.
2. Wenzeslausgrube, Streb 3. Wilhelmflöz, 1. bis 2. Sohle bei 2900 m (sehr ausbruchgefährlich).
   Zwei Löcher: $0{,}_3$ bis $0{,}_4$ atü.
   Temperaturdifferenz: 15° C.
   Mittlere Gesteinstemperatur = 14° C, Lochtemperatur = — 1° C.
   Wettertemperatur = 6° C. (Sehr starker Wetterzug.)
3. Wenzeslausgrube, Grundstrecke 1. Sohle, 3. Wilhelmflöz bei 2800 m (sehr ausbruchgefährlich).
   Ueberdruck: $0{,}_2$ atü.
   Temperaturdifferenz: 14° C.
   Mittlere Gesteinstemperatur = 13° C, Lochtemperatur = — 1° C.
   Wetterstrom = 9° C.

Wenn in solchen höchste Gefahr anzeigenden Bohrlöchern trotz der in der Zeiteinheit expandierenden kleinen Gasmengen dem Stoß große Wärmevorräte entzogen werden, so können in ihnen nicht nur die für stark entgasende, ungefährliche Bohrlöcher maßgebenden Verhältnisse, wie Expansions- und Lösungswärmebedarf, vorliegen, sondern es muß dort noch ein anderer, sehr große Energien verzehrender Vorgang mitspielen. Dieser Großverbraucher kann lediglich die Verdampfung von flüssiger Kohlensäure sein. Die an den obigen Beispielen gezeigte Erfahrung läßt somit keinen anderen Schluß zu, als daß man bei hoher Ausbruchgefahr, die sich oft in den nnr 2 m tiefen Bohrlöchern ankündigt, bereits in geringem Abstand vom Grubenbau noch die Existenz von Restbeständen an flüssiger CO_2 und damit große CO_2-Mengen vermuten muß. Der oben geschilderte kleine Ausbruch auf Rubengrube diene hierfür als Nachweis. Das Streckenort lag 50 m unter der oberen Grenze der kritischen Tiefe von 250 m, d. h. der Verflüssigungsdruck war merklich überschritten. Die beim Ausbruch frei werdende CO_2 blieb im Bohrloch infolge Expansionsraummangel zum größten Teil flüssig. Das aus ihm herausspritzende Kohlenstaub-Flüssigkeits-Gemisch kühlte sich bei der Verdampfung am Strahlumfang scharf ab, wobei der erforderliche Verflüssigungsdruck rapid sank. Der Ausbruchstrahl blieb dadurch kompakt, das Auswurfgut wurde an einer Stelle aufgehäuft und mußte wegen der nachträglichen, mit dem Temperaturausgleich Schritt haltenden CO_2-Vergasung den Eindruck erwecken, als sei es mit Wasser angerührt hingegossen worden und sodann getrocknet.

Eine weitere Beobachtung weist ebenfalls auf das Vorhandensein noch großer CO_2-Mengen dicht am Grubenbau hin. Bei Druckmessungen meist in den schlecht entgasenden und kalten Vorbohrlöchern ist es schon nach den wenigen Minuten der Meßdauer kaum noch ohne Anwendung von Gewaltmitteln möglich, den Englerschen Apparat wieder herauszuziehen, so stark verengen sich die Lochwandungen. Der Durchmesserschwund beträgt hierbei oft 20 bis 40 vH. (17). Vater (38, 27) stellte fest, ... daß die Höhe des Quellungsdruckes[1]) der Kohle hauptsächlich abhängt von der Höhe des Gasdruckes, unter dem die Lösung steht, und von dem Maße, in dem der Druckabfall der freien Gasmenge dem der gelösten vorauseilt. Wegen der geringen Dichte eines gasförmigen Absorptionsstoffes ist das Quellungsvermögen an sich gering . . . . Die Entgasungsvoreilung der freien CO_2 kann bei ausbruchgefährlicher, d. h. bei schlecht poröser Kohle keine sonderlichen Werte annehmen, wie die geringen Ueberdrücke beweisen. Da trotzdem die Quellung beträchtlich ist, muß die Dichte des adsorbierten Gases groß sein, was wiederum nur bei hohen Gasspannungen der Fall ist.

b) Folgerungen.

Die „Uebergangs- oder Verdampfungszone" muß innerhalb der kritischen Tiefe in einem mit CO_2 gesättigten Flöz, aus dem eine Entgasung nach einem Grubenbau hin erfolgt, in dem also ein Druckgefälle vorhanden ist, stets ausgebildet sein. Besteht das Flöz aus poröser, nicht verschmierter Kohle, so ist das „Entgasungs-Ist" groß. Das Gefälle vom Gebiet des Verflüssigungsdruckes bis hinab zum Grubenluftdruck von 1 Atm. wird lang und flach. Auch die „Uebergangszone" muß relativ breit sein, da eine Abkühlung eintritt, durch die trotz des Druckgefälles die Erhaltung des flüssigen Zustandes begünstigt wird. Zur Deckung des Wärmebedarfes genügt infolge der Breite dieser Zone ein kleines Wärmegefälle aus der Umgebung dieser Region.

Ungünstiger liegen die Verhältnisse, wenn es sich um typisch ausbruchgefährliche Kohle mit geringem „Entgasungs-Ist" handelt. Dort ist das CO_2-Spannungsgefälle steil, der Vergasungsvorgang soll innerhalb einer viel kürzeren Wegstrecke vor sich gehen. Die Verdampfungszone muß sich auf einen schmalen, näher zur Abbaukante gelegenen Streifen beschränken. Dadurch wird eine dem vorigen Beispiel gegenüber viel größere Temperatursenkung und damit ein steileres Wärmegefälle vom Stoß her herbeigeführt. Die hohen Temperaturdifferenzen in den erwähnten Bohrlöchern weisen darauf hin. Infolge der starken Temperatursenkung in der schmalen Verdampfungszone ist zu erwarten, daß wegen des damit verbundenen Anstiegs der Lösungsfähigkeit eine Lösungsstauung der CO_2 eintritt. Der CO_2-Bedarf für dieses Mehr an Aufnahmevermögen wird, da nur gasförmiges Kohlendioxyd wanderfähig ist, durch eine Art Sog in die

[1]) Nach der Ausdrucksweise von Vater und Rudolf.

Entgasungszone hinein gedeckt Jedenfalls wäre so eine folgerichtige Erklärung für das vor Ausbrüchen häufig beobachtete gänzliche Aufhören der Entgasung gegeben.

Die zustandegekommene Entgasungsverzögerung soll, sobald die kühle „Stauzone" mit vorrückendem Abbau in das Bereich des steilen Temperaturanstieges zur Stoßkante hin kommt, nachgeholt werden. Die geringe Gasdurchlässigkeit wird aber zuweilen nicht in der Lage sein, alle ihren bisherigen Zustand aufgeben wollenden Gasmengen sofort abzuleiten. Vorübergehend muß ein Teil der Kohlensäure, gewissermaßen aus Raummangel, gelöst bleiben, womit infolge der Temperatursteigerung eine Erhöhung des Dampfdruckes der CO_2 Hand in Hand geht.

Von einer bildlichen Darstellung dieser Vorgänge muß leider Abstand genommen werden, da Aufnahmekurven für die verschiedenen Temperaturen noch nicht aufgestellt worden sind.

Der Stoß eines Ausbruchflözes mag fähig sein, bei einem kleinen Temperaturgefälle, d. h. bei geringer Lösungsstauung, die zu entgasenden Mengen durchzusetzen, nicht aber, wenn durch zu flotten Verhieb eines schlecht entgasenden Flözes ein steiler Wärmeausgleich, also ein starkes Anwachsen des CO_2-Inhaltes herbeigeführt wird. Künftig zu bestimmende Werte für die Wärmeleitfähigkeit verschiedenartiger Kohlen würden zur rechnerischen Ermittlung des jeweils ungefährlichen täglichen Fortschrittes beitragen.

Noch ein zweites Gefahrenmoment tritt in wenig porösen Flözen auf. Es ist das starke Herannahen der Stauzone an die Abbaukante. Ein plötzliches Wegnehmen der Flözkante in 1 bis 2 m Tiefe hat eine steile Aufrichtung des Druckgefälles zur Folge. Daß allein dadurch zuzüglich einer zweifellos kräftigen „Schmierwirkung" der in Poren und Schichtfugen anstehenden flüssigen CO_2 ein Abblättern des Kohlenstoßes wegen des Fehlens eines stützfähigen Gegendruckes entstehen kann, ist augenfällig. Von diesem Stadium bis zum Eintreten eines regulären Ausbruches ist jedoch ein kleiner Schritt, der beim weiteren Hinzukommen von Abbaudruck- und Quellungsdruckerscheinungen (38) meistens getan werden wird.

Den bedeutenden Einfluß des Abbautempos, der übrigens mehrfach in der Literatur erwähnt worden ist (42), konnte der Verfasser im Februar 1930 auf Wenzeslausgrube im Streb 5. Wilhelmflöz, teils auch in dem des 3. Wilhelmflözes Nr. 6 – Nr. 3 3. Sohle bei 700 m gut beobachten. In diesem Falle bestanden die Flöze sogar aus ziemlich gutartiger, wenigstens deutlich entgasender Kohle. Der Vortrieb erfolgte, da sich dort bereits einige Unglücke durch Ausbrüche ereignet hatten, in langsamem Tempo. Aus betrieblichen Gründen sollte die Verhiebgeschwindigkeit bis um 30 vH. gesteigert werden. Innerhalb weniger Schichten schwoll die Entgasung so sehr an, daß die Belegschaft unter Atemnot und Kopfschmerzen zu leiden begann. Mit einer kräftigen Verstärkung des Wetterzuges durch Einbau eines Gebläses wurden diese Beschwerden behoben. Da sich trotz dieser Maßnahme weitere Anzeichen einer Ausbruchgefahr einstellten, wurde der Vortrieb auf das alte Maß zurückgeschraubt, worauf die früheren normalen Verhältnisse wiederkehrten.

3. Ueberblick über Ausbrucheignung und -gefahr.

Zusammenfassend ergibt sich für die bisher entwickelten neuen Anschauungen das folgende Bild. Die Ausbruchmöglichkeit scheint im Bereich mäßiger Teufen an die Existenz flüssiger CO_2 gebunden, da es durch diese Annahme möglich wird, das zahlreiche, sonst so zusammenhanglose Beobachtungsmaterial einheitlich und folgerichtig zu erklären. Dagegen sind Großentgasungen als Folge von Gebirgsschlägen in jedem Falle möglich. In strukturell zerstörten Flözen, die fast ausschließlich die Ausbruchreviere darstellen, ist der Porendurchmesser auf ein Minimum zusammengequetscht. Die Entgasung kann daher, wenn überhaupt, nur mit hohen Diffusionsdruckunterschieden geleistet werden. Die Druckabfallzone wird dabei schmal; die flüssige CO_2 reicht nahe an den die Entgasung aufnehmenden Bau. Allein schon bei einer Freilegung des vorhandenen hohen Druckgefälles wäre durch Schmierwirkung und Quellvermögen die Entstehung eines Ausbruches gegeben. Eine weitere Zuspitzung der Gefahr tritt ein, wenn der auf schmalem Streifen auftretende hohe Verdampfungswärmebedarf zu einer scharfen Abkühlung der Uebergangszone führt. Die letztere bedingt eine Erhöhung der Lösungsfähigkeit für CO_2. Ein Temperaturgefälle vom Grubenbau und aus der Flöztiefe her sucht das Wärmemanko auszugleichen. Schreitet die Abbaukante zu schnell vor, steigt die Temperatur der kühlen Region evtl. in einem Maß, daß die vorher durch Abkühlung angesammelten Lösungsmengen nicht mehr im Tempo ihres Freiwerdens entgasen können. Sie müssen vorübergehend unfreiwillig in Lösung bleiben, womit eine evtl. starke Erhöhung des CO_2-Dampfdruckes verbunden ist, die die Belastung des an sich schon wenig standfesten Kolbenstoßes noch höher treibt.

4. Die Ausbruchsgründe und -arten.

a) Bergmännische Beachtung.

Die Theorie ergibt, daß zwei verschiedene Ausbruchgründe möglich sind. Dasselbe vermutete der Verfasser auch schon aus gewissen äußeren Merkmalen, wie regel- oder unregelmäßige Herdform, vorwiegend grobes, anderswo rußfeines Auswurfgut, Kühle (8) und anderes Aussehen des Stoßes (31) oder nicht, das Auftreten von zwei Eruptionsstößen usw.

b) Ausbrüche durch Erschütterung.

Durch die erwähnte Erwärmung der anstehenden Kohle und der entsprechenden Drucksteigerung der darin enthaltenen CO_2 erhöht sich die innere Spannung des Stoßes auf Kosten seiner Stabilität immer mehr. Sein „Festigkeitsinhalt", ein Begriff, den Gaertner prägte (8), wird voll in Anspruch genommen und kann, besonders wenn plötzlich weitere Energien auf ihn treffen, überschritten werden. Diese den letzten Zusammenhalt der Kohle zerstörenden Zusatzkräfte zertrümmern das Material zu feinstem Staub. Meist rühren sie von Erschütterungen des Flözes her, die durch Sprengschüsse u. dgl. erzeugt werden.

Man hat bei einem Ausbruch dieser Art mit einem Ablauf von Ereignissen zu rechnen, wie sie bei der Zerstörung der Bologneser Glasperlen beobachtet werden.

Der Auslösungsimpuls für Gasausbrüche aus einem erwärmten Kohlenstoß braucht nicht groß zu sein. Werne (41) führt hierfür ein typisches Beispiel an. Durch die Erschütterungswellen eines Sprengschusses in einer Schwebenden wurde in dem zu ihr gehörenden vorgesetzten Streckenort ein Ausbruch ausgelöst. Als charakteristisch sind hier auch der geschilderte kleine Bohrausbruch auf Rubengrube und die später im ersten Abschnitt des Kapitels C 7 genannten einzureihen, die fast sämtlich nur durch Gezähearbeit eingeleitet wurden.

c) Ausbrüche durch Freilegung des Felddruckes.

Beim Schießen tritt aber nicht nur eine Erschütterung, sondern vor allem auch das Wegräumen einer gewissen Stoßpartie bis zu 2 m Tiefe ein. Dadurch wird der Auslauf der Gasdruckkurve plötzlich abgeschnitten. Das augenblicklich entstehende steile Druckgefälle läßt die Vatersche Quellung voll in Wirksamkeit treten, durch die die Porosität und somit die Entgasungsgeschwindigkeit stark gesteigert wird. Die CO_2 gibt eiligst ihren bisherigen Zustand auf und treibt infolge ihrer hohen Spannung den an sich schon zerquellenden und durch die Schmierwirkung der flüssigen Poren-CO_2 leicht einstürzenden Kohlenstoß in den Grubenbau. Dieser Vorgang benötigt für seine volle Abwicklung längere Zeit als ein Ausbruch infolge Erschütterung. Seine „Reaktionsgeschwindigkeit“ ist geringer. Wegen der fehlenden Ueberlastungszertrümmerung der Kohle ist bei dieser Art von Ausbrüchen das Ausbruchgut mehr von blättrigem, zerbröckelndem Charakter in Größe der Erbskohlen.

Die Freilegung des hochgespannten Stoßes braucht nicht nur durch Schießen zu erfolgen. Das plötzliche Setzen eines unterschrämten breiten Flözstreifens wird das gleiche Ergebnis zur Folge haben, ebenso wie durch einen Erschütterungsausbruch der Einsturz der stützenden Verdämmung erfolgt.

So trat beispielsweise im Streb Wenzeslausgrube, 3. Wilhelmflöz, 2. bis 3. Sohle, bei 2900 m am 28. Juni 1930 ein CO_2-Ausbruch unter den folgenden Umständen ein. Vor diesem Ort wurde unmittelbar unter einem dicht über dem Liegenden eingelagerten Bergemittel geschrämt. Der Vorteil des Schrämens, die Schaffung einer zweiten Entgasungsfläche in der dort nicht mehr völlig verschmierten Kohle konnte übrigens nicht zur Geltung kommen, da das Schiefertonmittel eine wirksame Diffusion in der verfügbaren Zeit unterband. Aus diesem Mittel war ein mehr als faustgroßes Stück herausgebrochen, hatte sich darunter geklemmt und verhinderte das Setzen und Entgasen des Stoßes durch die sonst aufreißenden Schlechten. Als nach etwa einstündiger Frist der Schram ausgeräumt wurde, schlug der damit beschäftigte Mann diesen festsitzenden Stein heraus. Durch das plötzliche kräftige Ablösen der unterschrämten Stoßpartie auf breiter Front wurde ein Ausbruch ausgelöst, dessen Auswurfgut blättrig und fast staubfrei war.

d) Einteilung der Ausbrüche.

Man hat also zwei Ausbruchgruppen zu unterscheiden:

I. Brisanter Typ: Ausbrüche durch Erwärmung kühler Flözzonen und entsprechende Drucksteigerung der darin enthaltenen CO_2.
Auslösungsursache: Erschütterungen der anstehenden Kohle auch geringer Heftigkeit.
Ausbruchgut: pulverisiert.

II. Deflagrierender Typ: Ausbrüche durch plötzliche, mehr oder weniger vollständige Freilegung des „CO_2-Felddruckes“.
Auslösungsursache: Schießen, starkes Setzen des unterschrämten Stoßes, Ausbrüche der Gruppe I, Gebirgsschläge.
Ausbruchgut: zertriebene, blättrige Kohle von vorwiegend Erbskohlengröße.

Die hier vorgenommene Einteilung erfolgt, rein äußerlich genommen, nach der Korngröße des Ausbruchgutes, ganz ebenso, wie dies Royer (25) mit der Unterscheidung eines Gard-Typs und eines Springhill- oder Gebirgsschlag-Typs tut. Allerdings sind die französischen Klassifizierungs-Leitsätze abweichend und besonders bei Jarlier (14) insofern andere, als er die Ausbrüche nur durch Ausgleich von Gebirgsspannungen ausgelöst sieht, obwohl in den meisten dieser Fälle sonst keine Anzeichen im Betriebe auf einen solchen hindeuten. Gewiß, Gebirgsschläge usw. mögen öfters vorliegen, als man bisher annahm. Trotzdem gibt die Tatsache zu denken, daß auf gasfreien Gruben „Kohlenausbrüche“ fast immer fehlen, obwohl in deren Abbaubetrieben doch die gleichen Schichtenspannungen auftreten und ausgelöst werden müßten wie in Ausbruchzechen. Man wird darum dem französischen Schema eine teilweise Unwahrscheinlichkeit bzw. nur beschränkte Gültigkeit zusprechen müssen. Ein Gebirgsschlag oder eine -erschütterung kann der auslösends Impuls für einen CO_2-Ausbruch sein, nicht aber muß er vorausgegangen sein, wenn ein solcher vorliegt.

In den meisten Fällen wird allerdings, wie Royer (25) ebenfalls betont, eine Vermischung der beiden Typen eintreten, da ein Ausbruch der Gruppe I häufig einen solchen der Gruppe II nach sich zieht, bewirkt er doch in noch größerem Maße eine Freilegung des frischen Stoßes als ein Sprengschuß. Auf dieser Kombination beruhen die an den Schießtüren so oft beobachteten zwei Eruptionen des gleichen Ausbruchs. Die Zeitdauer zwischen den beiden Stößen gebe ein Maß für die verschiedenen Reaktionsgeschwindigkeiten der beiden Typen, die sich bei bekannter Entfernung vom Herd zur Schießtür mit Hilfe der abzustoppenden Zeit vom Augenblick der Zündung bis zum Eintreffen der beiden Stöße zahlenmäßig festlegen lassen müßte. Die meist erheblich größere Wucht des zweiten Impulses beruht auf den zwar langsamer, so doch in viel größerer Menge ausgelösten Energien der zweiten Gruppe. Auch die grobe und feine Beschaffenheit des Ausbruchgutes vieler Eruptionen spricht für das dann gleichzeitige Auftreten beider Typen.

Freilich darf man aus dem Vorhandensein von Staubanwehungen nicht ohne weiteres auch auf einen Ausbruch der brisanten Gruppe schließen. Beim Zerquellen und Heraustreiben des Stoßes entsteht ebenfalls Staub, der in dem Gasstrom aufgewirbelt, durch ihn zum Teil am weitesten fortgetragen und, wie in einer pneumatischen Wäsche,

klassiert und gesammelt wird. Maßgebend für die Typisierung ist die Menge der rußfeinen Phase im Vergleich zur gesamten Auswurfmasse. Die Entscheidung über die Zuteilung dürfte nicht immer einfach sein. Sie wird desto schwieriger werden, je größer der den eventuellen Ausbruch der Gruppe I überlagernde Ausbruch des Typs II ist.

5. Die Ausbruchsgröße.

Die Ausbruchsstärke und damit seine Größe hängt ab bei Gruppe I von der Größe der Stauzone und vom Grad der Erwärmung, bei Gruppe II von der Steilheit des Druckgefälles. Es ergibt sich, daß 1. die Stauzone um so größer werden muß, je mehr die Kohle komprimiert, d. h. je schlechter die Entgasung mit fortschreitender Teufe wird; 2. der Ueberspannungsgrad durch Steilerwerden des Verdampfungstemperaturgefälles beim Absinken des mittleren Porendurchmessers zunimmt und 3. das Druckgefälle um so steiler sein muß, je höher der Felddruck der CO_2 ist, d. h. in je größerer Tiefe der Ausbruchort liegt. Dies sind die Gründe für das generell beobachtete Wachsen der Ausbruchgröße mit fortschreitender Grubenbautiefe. Zahlentafel 5, die eine Größen- und Tiefenaufteilung der CO_2-Ausbrüche der am meisten heimgesuchten deutschen Grube, der Rubengrube bei Neurode, darstellt, möge hierfür als Nachweis dienen.

Zahlentafel 5. Ausbruchstiefen und -größen.

m Tiefe unter übertage	Ausbruchmasse in t								
	0 bis 50	50 bis 100	100 bis 150	150 bis 200	200 bis 300	300 bis 400	400 bis 500	über 500	zus.
200—249	—	—	—	—	—	—	—	—	—
250—300	110	16	11	3	3	—	2	4	149
301—350	16	4	6	3	3	1	—	—	33
351—420	72	48	24	19	15	11	13	19	221
über 420	—	—	—	—	1	—	—	1	2
									405

Die Ausbruchsanzahl unter 420 m Tiefe ist gering, da dort bis jetzt nur wenige Ausrichtungsarbeiten im Gange sind.

Die Ausbruchsgröße wie auch die -dauer, die häufig 10 bis 15 Sek. (1, 43) und mehr beträgt, ist ferner von den jeweiligen räumlichen Verhältnissen abhängig. Erfolgt die Eruption in einem großen Querschlag, in einer Richtstrecke, in einem weit offenen oder hohen Streb, in einem glattwandigen Schacht usw., so sind in diesen Räumen viel größere Ausbruchsmassen unterzubringen, ehe eine Verstopfung des Ausbruchsweges und damit das Ende des Auswerfens eintritt, als in einem engen, niedrigen, durch Holz und Fördermittel versperrten Grubenbau.

Ein Musterbeispiel hierfür ist der geschilderte Ausbruch im Gard-Becken beim Abteufen eines Hauptschachtes, dem zur Unterbringung seiner Auswurfmassen die Tagesoberfläche zur Verfügung stand, der deshalb $1^1/_2$ Std. dauerte und erst zum Erliegen kam, als der entstandene riesige Herd zu Bruch ging und sich selbst verstopfte.

6. Die Ausbruchsanzahl.

Für das zahlenmäßige Anwachsen der deutschen Ausbrüche im letzten Jahrzehnt ergibt die Theorie einige Gründe. Vielfach ist erst seit diesem Zeitraum die kritische Tiefe von den Grubenbauen erreicht worden. Die Modernisierung des Grubenbetriebes, die auf eine Abbaukonzentration hinauslief, steigerte die Verhiebgeschwindigkeit, wodurch manche ausbruchgeeigneten Flöze ausbruchreif geworden sein werden. Die Einführung des Erschütterungschießens sorgte zudem, um so mehr als die Schüsse überladen wurden, systematisch für eine plötzliche und tiefe Entblößung des CO_2-Druckes und für sehr kräftige Impulse, die auch noch solche Stoßstellen zur Eruption trieben, die sonst nicht ausgebrochen wären.

Um sich von der Intensität der Schießwellen eine Vorstellung machen zu können, sei hier lediglich wiedergegeben, daß im Herbst 1930 vom Geophysikalischen Institut der Technischen Hochschule Breslau auf Wenzeslausgrube vorgenommene Messungen (43) auf 35 m Entfernung von der Sprengstelle Amplituden von noch $0{,}_{01}$ mm ergaben.

Mit diesen Hinweisen will der Verfasser nicht die heutigen Gegner des Erschütterungschießens stützen. Vielmehr steht er auf dem Standpunkt, daß sich diese Maßnahme trotz einer Erhöhung der Stein- und Kohlenfallgefahr wegen ihrer provozierenden Wirkung als höchst segensreich für Leben und Gesundheit der Belegschaft ausgewirkt hat. Weniger günstig wird allerdings die finanzielle Bilanz dieses Schutzmittels sein. Später soll deshalb untersucht werden, ob das Erschütterungschießen sich nicht vielfach durch andere und vielleicht billigere Verfahren ersetzen ließe.

7. Die Verzögerung von Ausbrüchen.

Das Provokationsschießen versagt dann, wenn der Gasausbruch nicht sofort beim Zünden der Schüsse oder unmittelbar darauf, sondern erst nach längerer Zeit eintritt. Reine Schießausbrüche des brisanten Typs sind vermutlich kaum verzögerungsfähig, da die im Augenblick der Erschütterung frei werdenden, den Felddruck weit übersteigenden CO_2-Spannungen wohl stets ausreichen, um die durch den Schuß noch nicht weggeräumte Verdämmung zu sprengen. Sie zerreißen die noch anstehende Wand an ihrer schwächsten Stelle, sei es auch nur in geringfügigem Umfange, mit der unwiderstehlichen Gewalt eines Sprengschusses. Wenn trotzdem eine ganze Reihe von Ausbrüchen (Rubengrube: Josephflöz, Ausbruch Nr. 4, 10, 62, 98; Antonflöz, Ausbruch Nr. 30, 38 (43)) des Typs I zwar wenig heftig, doch mit überraschend langer Verzögerung eintraten, so findet dies seine Erklärung darin, daß das Schießen mit der Eruption direkt nichts mehr zu tun hatte. Beim Sprengen war noch gar keine angewärmte Kohle vorhanden. Diese bildete sich erst nach dem Freilegen des frischen Stoßes bzw. dem Bereißen der Schießstellen, war also auf relativ geringe Erstreckung begrenzt und konnte deshalb nur kleine Ausbrüche geben.

Anders verhält es sich bei Ausbrüchen des Typs II. Der Gasdruck bleibt wenigstens für Stunden oder Viertelstunden annähernd vom gleichen Größenmaß. Wenn daher die konstante CO_2-Spannung trotz der Verdämmungsschwächung durch die Sprengung nicht ausreicht, um den Ausbruch sofort herbeizuführen, so müßte aus statischen Gründen ohne menschliches Dazutun ein dauerhaftes Gleichgewicht herrschen. Die Er-

fahrung lehrt das Gegenteil. Jeder, der einmal längere Zeit vor Ort war, weiß, daß noch lange nach dem Schießen „der Stoß arbeitet". Die Umlagerung der Abbaudruckzone findet statt. Die zur Zeit des Schießens noch komprimierte Verdämmung rückt allmählich in das Gebiet der Entspannung, sie reißt und verliert den Manteldruck. Die hinter ihr anstehende, nach wie vor hochgespannte CO_2 findet immer weniger stützenden Gegendruck und muß in dem Augenblick zum Ausbruch führen, in dem die Verdämmung zusammenbricht. Bis dies eintritt, können einige Viertelstunden vergangen sein, während denen die Belegschaft im Gefühl der Sicherheit an ihre Arbeit gegangen ist. Die Ausbrüche des Typs II sind im Gegensatz zu denen der I. Gruppe durchschnittlich kürzer verzögert, dafür aber von ihrer bekannten Heftigkeit. Als Beispiele seien genannt die großen Ausbrüche: Rubengrube, Ferdinandflöz, Ausbruch Nr. 7, der 10 Min. verzögert war, und derjenige im Blindschacht I vom 9. Juni 1931, der etwa 15 Min. nach dem Schießen eintrat.

8. Ableitung der Herdformen.

Zum Schluß der auswertenden Betrachtungen werde kurz die regellose, meist feigenblattartig ausgelappte Gestalt der Ausbruchherde begründet. In sehr vielen Fällen setzen einige Meter hinter dem durchbrochenen Kohlenstoß seitlich Ausbruchkanäle an. Dies erklärt sich, zunächst noch abgesehen von dem maßgeblichen Einfluß des Abbaudruckes, aus dem dort entwickelten Stau- und Ueberspannungsstreifen, der sich in erster Linie an dem Ausbruch beteiligen wird. Sonstige geringfügige lokale Veränderungen in der Porösität, Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit des Kohlenstoßes, d. h. Schwankungen des Erwärmungsgrades, der Breite und Entfernung der Stau- und Verdampfungszone, des Quell- und Treibdruckes, sowie der Schmierwirkung können nur unregelmäßige Formen herbeiführen. Es sind dies ebensolche, an sich geringe, in ihrer figürlichen Auswirkung jedoch maßgebende Differenzierungen, wie sie z. B. bei der Isolierfähigkeit der Luft usw. die verzweigten Formen eines Blitzes bedingen. Die auffallendste Erscheinung bleibt aber, wie schon eingangs erwähnt, die Bindung der Formgebung wie der Ausbrüche selbst an Störungen u. dgl., die den Herd kreuzen. Die Gründe für diesen wohl in 90 vH. aller Fälle ausschlaggebenden Faktor beruhen auf Auswirkungen lokaler Gebirgs- oder Abbaudruckstreifen, deren Bedeutung für die CO_2-Ausbrüche im kommenden Kapitel erörtert werden soll.

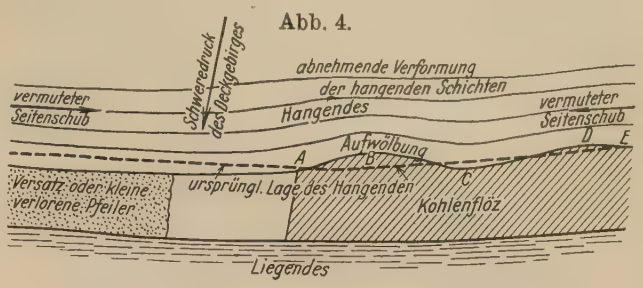
D. Druckwelle und Flözkohlensäure.

1. Die CO_2-Wältheorie.

Der Verfasser machte auf Wenzeslausgrube durch systematische Beobachtung öfters folgende auffallende Feststellung. In langen Streben (2. Wilhelmflöz bei 2100 m. 3. Sohle bis Nr. 6; 3. und 5. Wilhelmflöz bei 2800 m, 2. bis 3. Sohle) vorgesetzten Strecken, in denen die Druckwellen (1. und 2. Webersche Welle) deutlich ausgebildet waren, bildeten sich an diesen Zusatzdruckstellen kleine, in der Wasserseige usw. sichtbar werdende CO_2-Bläser, die im großen und ganzen mit dem vorschreitenden Abbau mitwanderten.

Man muß also von diesen durch CO_2-gesättigte Flöze laufenden Pressungszonen annehmen, daß sie an ihrer Kompressionsstelle eine gewisse Menge an freier CO_2 ausquetschen und vor ihrer Front in der dort vorhandenen Auflockerungszone herwälzen. In Abb. 4 zeigt *C* das Bereich der Kohlen-

Abb. 4.



Zonen der Flözpressung und -auflockerung.

dioxyd-Auswanderung, *D* dieses seiner Anhäufung. (Nicht mit der thermisch bedingten Lösungsstauung verwechseln!) Eine Bewegungsfähigkeit der flüssigen CO_2 ist hierbei durchaus gegeben, da bei *D* eine Aufwölbung des Hangenden, d. h. eine Flözporenvergrößerung eintritt, und anderseits der CO_2-treibende Abbaudruck nach dem Verfasser bekannten, bisher allerdings noch nicht veröffentlichten Messungen 300 bis 400 und mehr vH. des Schweredruckes beträgt. — Mit der zurückgelegten Weglänge wird die mehr oder weniger ins Hangende und Liegende abfließende CO_2-Welle mächtiger werden. Hinter ihr, bei *B*, bleibt eine ungesättigte und kräftig expandierende Lagerstätte zurück, in der eine Vergasung und Entgasung zum Stoß bei *A* leicht möglich ist. — Das Maß der Auswälzung hängt offenbar ab direkt von der Größe, Breite und Dauer des lokalen Ueberdruckes und vom Porendurchmesser, umgekehrt von der Geschwindigkeit des Abbaus.

Diese Vorgänge sind, um ein Bild aus dem Alltag heranzuziehen, ganz ähnlich denen, die man beim Durchgeben nasser Wäsche durch eine Wringmaschine beobachten kann.

Den Grundgedanken dieser „Wältheorie" hat nach Kenntnis des Verfassers der ungarische Bergingenieur Becker (2) als erster ausgesprochen. Gaertner steht das Verdienst zu, ähnliche Anschauungen in seiner letzten Veröffentlichung (8) wieder aufgeworfen zu haben.

2. Nutzanwendung in Ausrichtungsbauen.

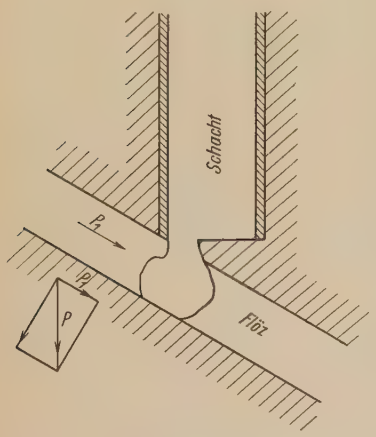
Bei Ausrichtungsbauen sind ausgeprägte Einflüsse auf die CO_2-Verhältnisse im durchfahrenen Flöz kaum zu erwarten. Trifft man innerhalb der kritischen Tiefe auf ein CO_2-reiches und schlecht entgasendes Flöz, in dem das Abklingen einer Ueberspannung nicht abgewartet oder wo das Flöz auf großer Fläche plötzlich freigelegt wird, so kann man mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Ausbruch erwarten.

Auch die Gefahr einer Ausbruchverzögerung ist in Schächten u. dgl. besonders groß, da in ihnen der sprunghafte Uebergang zwischen selbsttragendem, widerstandsfähigem Nebengestein und zermürbter, leicht nachgebender Kohle zu durchörtern ist. Ein Kranz Einbruchschüsse verursacht, auch wenn er nicht bis ins Flöz durchschlägt, in der

dazwischenliegenden Gesteinsbrust Risse. Wird durch die Erschütterung eine große überspannte Kohlenmenge zum Zerfall gebracht, so erfolgt die völlige Sprengung der Verdämmung. Ist sie aber klein, d. h. genügen ihr die Spalten oder eine geringe Aufweitung derselben zur Expansion, so tritt ebenso wie beim Fehlen einer Erwärmung kein Zerreißen, sondern höchstens eine Auflockerung der Deckschicht ein. Das im CO_2-Flöz vorhandene latente Arbeitsvermögen, vereint mit der Vaterschen Quellung, kann nunmehr so kräftig zur Wirksamkeit kommen, daß es die Verdämmung, wenn auch erst nach längerem Zeitraum, durchbricht.

Deutlich macht sich der Einfluß des Gebirgsdruckes, falls das Flöz nicht zu flach einfällt, in der Gestaltung des Ausbruchherdes bemerkbar. Abb. 5 zeigt ein beim Teufen ausbrechendes Flöz in dem Augenblick, wo die Eruption die Sohle erreicht hat. Der auf dem Flöz ruhende Gebirgsdruck p vermag jetzt eine Komponente p_1 wirksam werden zu lassen, die die Ausbruchkräfte schwebend vom Anfahrpunkt des Flözes fördert, während sie in einfallender Richtung auf sie bremsend wirkt. Die somit begünstigte Aufwärtsentwicklung der Ausbruchherde ist in der Ausrichtung ausschließlich, fast ebenso ausgeprägt auch in streichenden Vorrichtungsbetrieben zu beobachten (Abb. 8 u. 9).

Abb. 5.

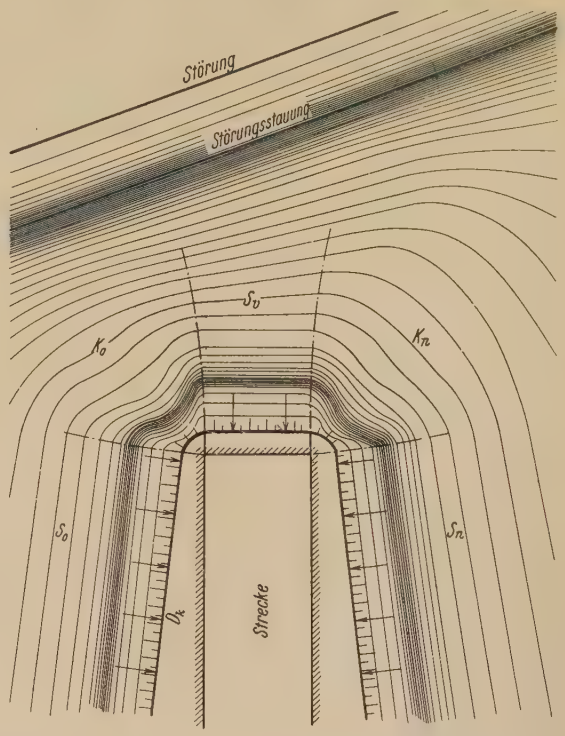


3. Nutzanwendung in Vorrichtungsbetrieben.

Spürbar wird der Einfluß der Druckzone auf die CO_2-Flözverhältnisse in Vorrichtungsbetrieben. Zur vollen Entwicklung kommt allerdings der durch ihn verursachte Wälzprozeß noch nicht, weil der Druck wegen der geringen Breite von Strecken usw. nicht kräftig genug ist, um größere Mengen flüssiger CO_2 auszuquetschen und vor sich her zu schieben. Am schärfsten wird die Druckwelle unter einem Hangenden von Tonschiefer u. dgl. ausgebildet sein, weil dessen Biegsamkeit ihre Entwicklung begünstigt. Dagegen kann man unter Sandstein, Konglomeraten usw. weniger von einer Wälzwelle und damit einem Wälzschutz sprechen. Dies ist wohl der maßgebende Grund für die Ausbruchhäufigkeit unter starren Deckschichten. Liegen aber für die Entwicklung eines Druckstreifens vorteilhafte geologische Verhältnisse vor, so tritt seine Ausbildung bald ein. Spackeler (36) gibt an, daß die streckenseitige Grenze dieser Pressungszone schnell in 0,5 bis 1 m, nach einigen Wochen in 2 bis 3 m und in alten Bauen in 5 bis 6 m Abstand vom Stoß liegt.

Aus Abb. 6 seien die in Vorrichtungsörtern einen Ausbruch begünstigenden Vorgänge abgeleitet. Die Skizze zeigt einen Streckenvortrieb, dargestellt in der Flözebene, wobei das Einfallen von links nach rechts verlaufen möge. Die Kurve D_k sei die innere Grenze der um dieses Ort ausgebildeten Druckzone. Ober-, Nieder- und Ortstoß der Strecke nehmen die Entgasung aus den Flözzonen *So*, *Sn* und *Sv* auf. Die Keilstücke *Ko* und *Kn* fallen als gefahrverheißend auf, da ihnen ein freier Gasaustritt fehlt und deshalb ihre Entgasungsmöglichkeit nur

Abb. 6.



gering sein kann. Ihr CO_2-Druckgefälle ist somit von besonderer Steilheit. Durch vom Verfasser in gut entgasender Kohle häufig gemachte Beobachtungen wird diese Annahme bewiesen. In der Regel geben Druckmessungen in nach *Ko* und *Kn* getriebeneu Vorbohrlöchern höhere CO_2-Spannungen als zur gleichen Zeit in der Vortriebrichtung abgebohrte. Von den beiden kritischen Druckpartien wird wiederum die in den Oberstoß hineinragende die ausbruchgefährlichere sein. Dort werden die Eruptionstreibkräfte, wie für die Ausrichtung an Abb. 5 erläutert wurde, durch den den Oberstoß hineinschieben wollenden Stoßdruck (35) unterstützt. Er ist hier ebenfalls der für die generelle Herdentwicklung maßgebende Faktor. Da er ferner mit steigender Teufe wächst (33), ist er auch an der mit der Tiefe zunehmenden Ausbruchgröße beteiligt. Die Existenz von *Ko* und *Kn* ist nur dort möglich, wo einspringende Ecken vorhanden sind, d. h. in Vorrichtungsbetrieben. Hierauf und auf ihrem dem Abbau gegenüber ungleich schwächeren Wälzschutz beruht die Tatsache, daß sich der größte Teil aller Ausbrüche in der Vorrichtung ereignet.

Treibt man eine Strecke vor, so drücken die beiden vor Ort zusammenlaufenden Druckzonenschenkel die CO_2 vom Grubenbau weg, ähnlich, wie ein Schneepflug den Schnee beiseite schiebt. Am Außenrande der Pflugschar bzw. des Pressungstreifens liegt das Staumaximum an ausgequetschter CO_2. In Abb. 6 ist das Staumaß der Wälzwirkung, vermindert um die Entgasung, durch die verschiedene Dichte eines Kurvensystems dargestellt. Längs eines Sprunges od. dgl. hat man wegen des dort infolge der Annäherung des Grubenbaues lokal steigenden Gebirgsdruckes ebenfalls die Bildung

einer Stauzone zu erwarten. Sodann ist das Flöz dort komprimierter und von früher her hochgradig lettig. Es birgt also alle Eigenschaften, die einer CO_2-Durchwanderung den höchsten Widerstand entgegensetzen. Kommt an ein solches Hindernis ein in die Flöztiefe hinein abebbendes Grubenbauwälzfeld heran, so überlagert sich das letztere mit der Sprungstauung, weil das Weitertreiben dieser CO_2-Mengen durch die Verstopfungszone längs der Störung unmöglich ist. Nicht einmal die Druckwelle selbst ist imstande, diese Schranke ungebremst zu übersteigen, da der Schichtenzusammenhang an ihr zerstört ist. Daß ein Sprung in all diesen Hinsichten eine sehr starke Isolierschicht ist, ist sicher. Royer (25) gab dieser Gewißheit mit den Worten Ausdruck: „Die zwei Seiten einer Spalte stellen oft scheinbar zwei voneinander unabhängige Zonen ohne gegenseitigen Einfluß dar". In Abb. 6 ist ferner das Herannahen eines Streckenwälzfeldes an das einer Störung schematisch dargestellt.

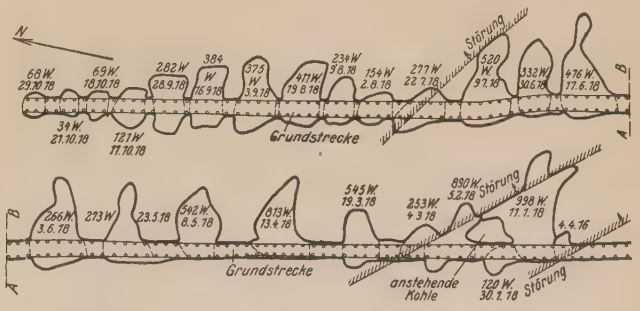
Abb. 7.

Aus Verlauf und Dichte der Staulinien geht hervor, daß beim Zusammentreffen beider Felder dicht hinter dem Ortstoß und bei Anwendung der bisherigen Maßnahmen ein Ausbruch unvermeidlich sein dürfte. Die anfangs erwähnte überragende Bedeutung von Sprüngen für die Ausbruchgefahr wird somit offenbar. Der Ausbruch entwickelt sich natürlich in Richtung der größten CO_2-Mengen, d. h. längs der Störung. Der Herd wird sich nur wenig hinter dem Sprung ausdehnen, da dort keine anormal hohen CO_2-Mengen mehr vorhanden sind. Im Gegenteil ist durch die Pressung längs des Sprunges hinter ihm eine Ausquetschung des Kohlendioxydes erfolgt. Sollte der dort freigelegte Felddruck in der mit weniger flüssiger CO_2 geschmierten Kohle allein zur Ausbruchfortdauer führen können, so wird meistens schon die Eruption durch Ausfüllung des Expansionsraumes mit Auswurfgut zum Stehen gekommen sein. Die Selbstbremsung des Ausbruches durch die plötzliche Verdampfungs- und Lösungskälte, die sich stets an der niedrigen Temperatur des Auswurfmaterials zeigt, blieb zudem bisher, da sie eine untergeordnete Rolle spielen wird, unerwähnt. Abb. 7 diene zur Veranschaulichung des Einflusses von Sprüngen. Es handelt sich bei ihr um einen Ausbruchkanal längs einer Gesteinstirn im Herd des Ausbruches vom 9. Juli 1930 auf Wenzeslausgrube. Das Bild stammt zwar aus einem Abbaubetrieb, doch sind dort die gleichen Vorgänge, wegen der schärferen Ausbildung der Weberschen Welle sogar in noch höherem Maße bedingt. Die Abhängigkeit der Gestalt und des Eintretens der Ausbrüche von Störungen kommt in den Abb. 8 u. 9 an Ausbruchserien der Rubengrube gut zum Ausdruck.

Abb. 8.

Das Vorhandensein einer Störung ist für das Eintreten eines Ausbruches keine Notwendigkeit. Es wurde schon erwähnt, daß um Vorrichtungsbaue der Druckbogen anfangs nicht scharf ausgebildet ist. Liegt zudem noch ein Flöz mit starrem Hangenden vor, so ist es verständlich, daß die Wälzwirkung nur gering sein kann. Beim Gleichbleiben von flottem Vortriebtempo und schwacher Druckzone wird das wälzmögliche CO_2-Maximum schon nach kurzen, unter sich gleich lang bleibenden Vortrieblängen immer wieder erreicht sein. Das dann eintretende Aussetzen des Wälzschutzes bzw. Ueberspringen der Wälzmenge durch die Pressungszone veranlaßt den Ausbruch. Den Vortrieb eines solchen Ortes zuweilen mehr oder weniger lange zu stunden, bringt keinen Vorteil, da der mit der Stundungsdauer wachsend sich ausbildende und gewissermaßen festfahrende Druckbogen die an sich schon schwache Entgasung immer mehr unterbindet. Als Beweis hierfür kann der in Abb. 9 rechts unten eingezeichnete Aus-

Abb. 9.



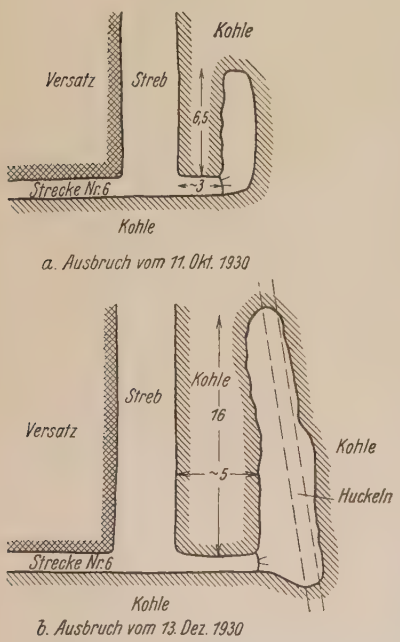
bruch vom 11. Januar 1918 angesehen werden. Das Streckenort hatte seit dem Ausbruch vom 4. April 1916, also nahezu zwei Jahre lang gestanden. Trotzdem kam es nach einem Vortrieb von kaum 5 m zu diesem sehr großen Ausbruch. Ausschlaggebend scheint also nicht zu sein ein rechnungsmäßiger, durch nur zeitweiliges Belegen erzielter langsamer Fortschrittsdurchschnitt, sondern ein gleichmäßiger Vortrieb des Ortsstoßes mit

einem Tempo, das einen guten Mittelwert zwischen Druckschutz und Entgasung gibt. Der öfters beobachtete übereinstimmende Längenabstand von einem Ausbruch zum nächsten (Abb. 9) dürfte neben einer gleichbleibend zu kurzen Verhiebzeit des einzelnen Streckenmeters auch auf der durch das Aufräumen der Ausbrüche verursachten Ungleichmäßigkeit des Vortriebs beruhen.

Ein scharfes Augenmerk ist auf das Auffahren von langen Streben vorlaufenden Abbaustrecken zu richten, und zwar ist das Maß ihres Vorsetzens das gefahrbergende. Vor den Strebfronten läuft in der Regel eine sehr gut ausgebildete Webersche Welle mit einem Abstand ihres Maximums von rd. 3 bis 6 m. Oft ist auch 15 bis 20 m hinter dem Stoß die etwas schwächere zweite Webersche Welle vorhanden. Jede von ihnen wälzt eine CO_2-Menge vor sich her. Werden die Abbaustrecken gerade in diesen kritischen Abständen vorgetrieben, so ist es naheliegend, daß, da die Ausbruchvoraussetzungen dort ihr Optimum haben, Eruptionen eintreten, und zwar auch in Flözen, die sonst wegen hoher Porosität keine Ausbrüche gaben.

Durch Schießen im Bereich der ersten Weberschen Welle wurden die beiden Ausbrüche auf Grube Wenzeslaus im Herbst 1930 in der Strecke Nr. 6 unter der 3. Sohle im Neuen Flöz Nannyteil bei 1250 m eingeleitet. Noch nie waren in dieser Flözpartie Ausbrüche vorgekommen, da das Flöz aus guter, stückiger und flott entgasender Kohle bestand. In beiden Fällen waren die Herde völlig parallel dem Abbaustoß entwickelt. Beim Ausbruch vom 11. Oktober 1930 (Abb. 10a) betrug die Stärke des 6,5 m langen stehengebliebenen Kohlenbeines etwa 3 m. Störungen u. dgl. waren nicht vorhanden, deswegen war auch der Herd von regelmäßiger langgestreckter Form. Beim Ausbruch vom 13. Dezember 1930 (Abb. 10b) belief sich die Stärke des Beines auf 5 bis 6 m bei 16 m Länge. Die Webersche Welle war dort durch zwei kleine Sprünge beeinflußt worden. Eine gewisse Herdformverlappung war deshalb in deren Streichrichtung ausgebildet.

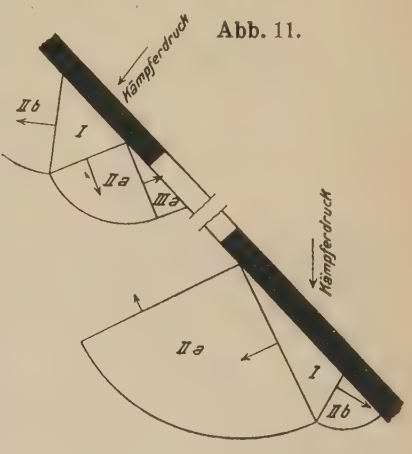
Abb. 10.



Aehnlich lagen die Verhältnisse bei dem Unglück auf Wenzeslaus vom 7. März 1928. Die Strecke, in der der CO_2-Ausbruch jedenfalls durch die Tätigkeit einer Streckenvortriebmaschine ausgelöst wurde, war in dem sehr gasreichen Flöz einer Schwebenden, in der soeben mit dem Abbau begonnen worden war, um etwa 5 bis 6 m vorgesetzt. Zudem befand sich das Unglücksort gerade in der Druckzone des dicht darüber im 3. Wilhelmflöz umgehenden Abbaus. Der Ausbruchherd verlief ebenfalls parallel der Schwebenden und der Strebkante des hangenden Flözes, zeigte eine regelmäßige, langgestreckte Form, d. h. er hatte gleichfalls die Umrisse der Wälzwelle.

Das für Strecken Gesagte gilt im wesentlichen auch für Aufhauen. Bei ihnen kommt das Gefahrenmoment, die Wälzzone einer Strebdruckwelle zu durchfahren, meist in Fortfall. Dafür steigt der den schwebenden Stoß belastende Gebirgsdruck in seiner Bedeutung. Fällt das Flöz ziemlich steil ein und hat es ein glattes Liegendes oder Hangendes, neigt es also zum Auslaufen, ist die Ausbruchgefahr besonders groß. Das gleiche gilt, wenn eine weiche Sohle, z. B. Schieferton, vorliegt. Durch die Druckwirkung im Liegenden gerät sie ins Hochquellen und Abgleiten, ein Vorgang, den Abb. 11 zeigt. Im allgemeinen ist die darin bedingte Stoßauflockerung eine angenehme Begleiterscheinung, weil der Arbeitsprozeß erleichtert wird. In Ausbruchgruben aber kann sie sich wegen der Gefahr des Auslaufens nachteilig auswirken. Auch die Herabsetzung der Kohlendruckfestigkeit bis auf 40 vH. (35) durch eine glatte oder weiche Unterlage spielt eine große Rolle. Noch gefahrvoller wird die Situation, wenn man das Liegende bis nahe vor Ort nachnimmt, dabei bis in die Druckzone IIa der Abb. 11 kommt und somit das Abwandern des Schiefertones begünstigt.

Abb. 11.



Der in allen bisher behandelten Grubenbauen einflußvolle Oberstoßdruck fällt bei Abhauen fort. Daher werden sie seltener von Ausbrüchen heimgesucht als andere Vorrichtungsbaue. Auf Wenzeslaus ereignete sich in ihnen nie eine Eruption, obwohl die durchteuften Flözpartien schwebend zweifellos nicht störungsfrei zu durchfahren gewesen wären. (Der Verfasser denkt insbesondere an das seinen äußeren Anzeichen nach höchst ausbruchgefährliche Abteufen des Unterwerkes im 3. Wilhelmflöz, 3. Sohle bis Nr. 6 bei 2450 m, bei dem jedoch kein Ausbruch eintrat.) Auf Rubengrube fällt das diesbezügliche Ergebnis allerdings nicht so günstig aus, doch kann man wohl auch hier sagen, daß in Einfallenden der prozentuale Ausbruchanteil geringer ist als bei schwebendem Auffahren in gleich gefährlichen Feldesteilen.

4. Nutzanwendung in Abbauen.

a) Einzelflöze.

Die Abbaubetriebe stehen angesichts der großen von ihnen durchörterten Flächen hinsichtlich der Zahl ihrer Ausbrüche am günstigsten da. Dies erklärt sich aus dem Fehlen der einspringenden Ecken (s. Abb. 6) und aus dem gesteigerten Schutz, den der kräftigere Abbaudruck bietet. Als Nachweis hierfür kann die von Rother (24) aufgestellte

Bohrlochgasdruck-Tabelle (Zahlentafel 6) gewertet werden, in der jede Zahl das Mittel aus vielen Einzelmessungen darstellt. Danach geben, wie zu erwarten, die Streckenbohrlöcher, wegen des schwachen Wälzschutzes, die höchsten Ueberdrücke, während sie im Streb aufwärts, entsprechend der steigenden Ausbildung der Abbauwelle, absinken. — Der Betriebsmann muß also auf den Abbaudruck den größtmöglichen Wert legen. Allerdings wird er ihn in befriedigendem Maße nur unter einem Hangenden von hoher Biegsamkeit und Kohäsion, d. h. unter Tonschiefer u. dgl., erzielen. Dort tritt er um so breiter und schneller auf, er wird um so wälzfähiger, je länger und je gerader der Abbaustoß ist. Besonders die Breite der Zusatzpressung ist das Wünschenswerte, weil dann CO_2-Felddruck und Wälzstauung möglichst weit von der Abbaukante gehalten werden. Verdampfungstemperatur- und Druckgefälle bleiben relativ flach und werden beim Hereingewinnen des nächsten Strebfeldes keinen Anlaß zu einem Ausbruch geben. Vor allem aber hat ein breiter Abbaudruck ein besseres Wälzvermögen, weil die einzelnen Flözstreifen länger unter seiner Einwirkung stehen und darum mehr CO_2 hergeben werden. Bei schnellem Verhieb kann die CO_2-Auswanderung wegen ihrer ausgesprochenen Bindung an die Zeit nicht so weitgehend sein wie bei langsamem Abbau.

Zahlentafel 6. Rother-Tabelle.

Bohrlochgasdrücke Wenzeslausgrube, 5. Wilhelmflöz bei 750 m.

In der Grundstrecke am Unterstoß .	0,58	atü
„ „ Stoßmitte	0.39	„
„ „ Grundstrecke am Oberstoß . .	0,31	„
Im Streb 12 m über der Grundstrecke	0,16	„
„ „ 18 m „ „ „	0,12	„

Es erscheint vorteilhaft, bei dem erforderlichen Abbau mit breitem Blick nur eine streichende oder noch besser schräg abwärts angreifende Verhiebrichtung anzuwenden. Bei schwebendem Abbau würde der gefährliche Stoßdruck stark in Erscheinung treten und alle Verhütungsmaßnahmen zunichte machen.

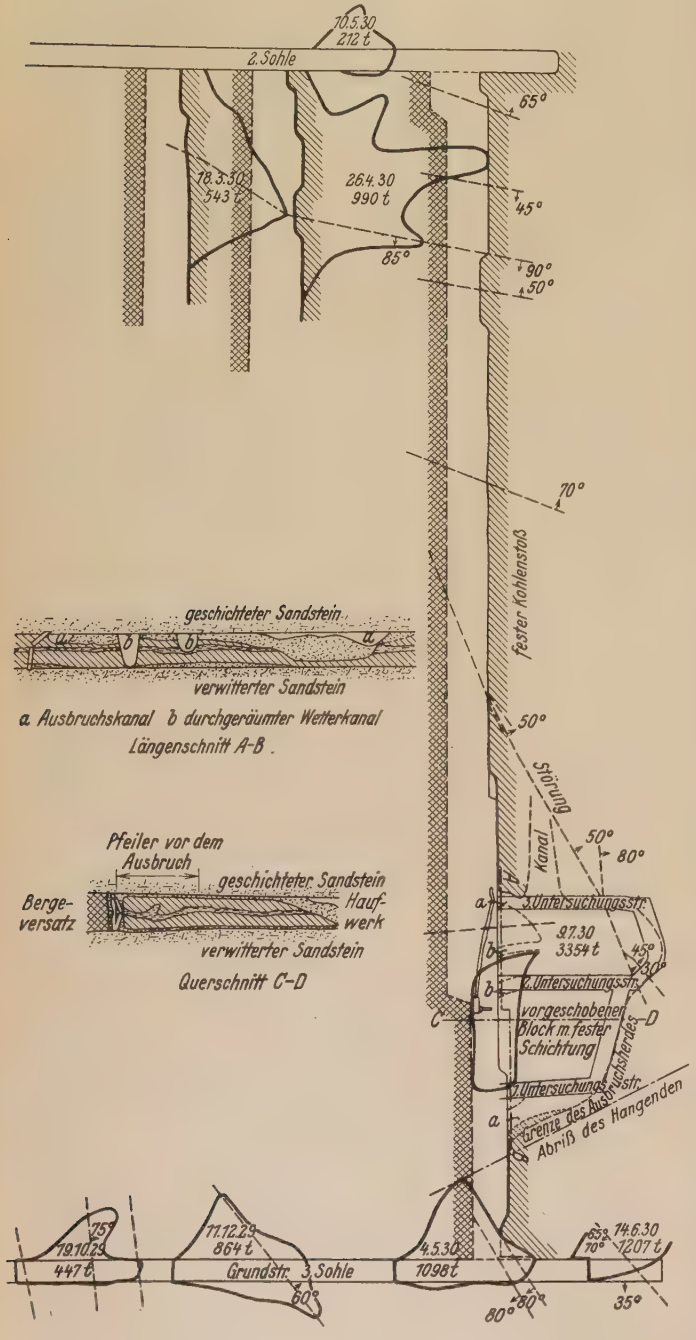
Grundsätzlich so schwach wie bei schnellem Verhieb unter biegsamem Hangenden ist die Ausbildungsform der Druckwelle unter einer starren Dachschicht. Deshalb ist unter Sandstein, abgesehen von seiner auf geologischem Gebiet liegenden Gefahrverschärfung, besondere Vorsicht geboten. Vor allem aber ist Sandstein bekannt dafür, daß er bei geringfügigen Unregelmäßigkeiten im Abbau wegen seiner Starrheit zur Bildung von unberechenbaren Spannungen neigt, die sich in bezug auf Gewinnung und Sicherheit höchst nachteilig auswirken. Aus dieser Kenntnis heraus raten Royer (26) und Gillitzer (9) dringend von irgendwelchen Aenderungen oder Schwankungen im Verhieb ab. Als eine gewisse Warnung vor unmittelbaren Druckanschwellungen können Risse im Sandstein aufgefaßt werden. Sie sind bedenklich, weil sie hoch hinaufreichen, also innerhalb starker Schichtenpakete den Zusammenhang zerstört haben, eine Annahme, die im Schiefer weniger wahrscheinlich ist, da dort die Sprünge meist an der nächsten Bank absetzen (20).

Gelingt es unter Sandstein nicht, ein möglichst baldiges Aufsetzen des Hangenden auf den Versatz und dessen best tragfähigen Zustand herbeizuführen, werden außerdem noch Abbauunregelmäßigkeiten unvermeidbar, so wird die ihm eigene Gefahr der Gebirgsschläge verschärft. Sie treten in dem Augenblick ein, in dem die Biegungsfestigkeit der Sandsteinbank oder die Tragfähigkeit des durch Störungen u. dgl. in seiner Breite beschränkten Druckgewölbesockels überschritten wird. Die Flözkohle stellt dieses Widerlager dar. Sie kann aber der Ueberlastung wegen der raschen Abwicklung eines Gebirgsschlages nicht durch Verformung, sondern nur durch Bruch (22) nachgeben. Es erfolgt dabei das bekannte Vorpuffen des Stoßes, das in Ausbruchgruben eine plötzliche, breite und tiefe Freilegung des CO_2-Felddruckes mit sich führt. Gleichzeitig setzt eine große Auswanderungstendenz der CO_2 aus der teils durch den Schlag zertrümmerten, teils unter stärkste Zusatzkompression versetzten Kohle ein. Das Resultat ist ein Ausbruch vom Typ II, diesmal der echte Springhill-Typ der französischen Systematik mit körnigem, wenig staubigem Ausbruchgut.

Als Beispiel hierfür sei der katastrophale Kohlensäureausbruch vom 9. Juli 1930 auf Wenzeslausgrube eingehend geschildert. Der Unglücksstreb war rd. 200 m lang, das Einfallen betrug im Mittel 32°. Das Flöz ist zweifellos einmal tektonische Gleitfläche gewesen, gab daher eine völlig zermürbte, aschenreiche Kohle, und war in diesem Feldesteil der ausbruchgefährlichste Betrieb der ganzen Grube. Das Hangende bestand aus einer mächtigen Sandsteinbank, die von zahlreichen Nordwest-Südost streichenden Sprüngen durchsetzt wurde. Der Versatz erfolgte wegen der Länge und Steilheit des Betriebes mit Waschbergen; Holz wurde nicht geraubt; der Abbaufortschritt betrug 50 bis 60 cm/Tag. Durch eine allmähliche Veränderung der Flözneigung war der Streb oben vorausgeeilt. Um ihn wieder in die Einfallinie zu bringen, war er in den Wochen vorher geschwenkt worden, d. h. man ließ die oberen 100 m im allgemeinen stehen, nahm nur hin und wieder ein Feld zur Begradigung des Stoßes heraus und verhieb das Flöz unten um so schneller. Der Versatz konnte deshalb nicht recht nachkommen, was sich an dem vier bis fünf Felder offenstehenden Bergesack zeigte. Hinzu kommt, daß vor der Frontschwenkung der Streb infolge des Ausbruches vom 14. Juni bis 21. Juni gestanden hatte und daß außerdem wegen der Absatzkrise einige Male Feierschichten eingelegt worden waren. Heut weiß man, daß diese Verhältnisse das Eintreten der Katastrophe begünstigten. Abb. 12 zeigt den Befund des Strebes, wie ihn die Aufräumungsarbeiten ergaben. Der Zusammenhang des Hangenden war am Strebfuß bis 20 m und am Ende der Grundstrecke 3. Sohle noch weiter aufwärts durch Zubruchgehen bei den Ausbrüchen vom 4. März und 14. Juni 1930 zerstört worden. Etwa 90 m schwebend über der 3. Sohle durchschnitt eine kräftige, nach SO streichende Störung den Abbaustoß, deren Verlauf im ausgeräumten Herd verfolgt werden konnte und die etwa im Herdtiefsten in einen steiler streichenden zweiten Sprung auslief. Abb. 13 zeigt diese Stelle. In diesem Bereich lag zudem noch, wie Rother (24) fand, die tiefste Stelle des Durchhanges des hangenden Sandsteins. In der unteren Strebhälfte war ferner die oben erwähnte Schwenkung vorgenommen worden, durch

die die viele Monate lang gleichmäßig gelaufenen und durch die Strebstundung der 3. Juniwoche kräftig zur Ausbildung gekommenen Abbau- und Durchbiegungswellen gestört wurden. Wegen der plötzlichen Voreilung der unteren Baukante vergrößerte sich die sonst schon bei Sandstein auf das höchste getriebene frei tragende Spannweite

Abb. 12.



des Hangenden immer mehr. Gleichzeitig wurde der die Belastung aufnehmende stoßseitige Drucksockel, begrenzt von den beiden Sprüngen und der Abrißlinie der Streckenausbrüche, wachsend durch die vorschreitende Gewinnung schmaler, bis schließlich die Schwächung ihren zulässigen Grenzwert überschritt. Schon vor dem Schlag muß sich am Durchgang der Störung durch die Strebfront der Druck besonders stark bemerkbar gemacht haben, denn 1. war unmittelbar am Kohlenstoß ein Unterzug gestellt worden und 2. wurden an ihr 7 Tote gefunden, die nach dort außerhalb der üblichen Holztransportzeit (in einer straff organisierten Abteilung eine auffallende Tatsache) weiteres Holz geschleppt hatten. Offenbar waren sie im Augenblick des Gebirgsschlages mit Bauen beschäftigt, während der Aufseher, mit den Füßen gegen eine Schrämmaschine gestützt, so auf dem Stoß liegend gefunden wurde, als hätte er den etwas ausgelaufenen Sprung beobachtet. Die etwa 6 Std. vorher genommenen Druckproben hatten einen ganz geringfügigen Entgasungsdruck ergeben, allerdings war das Quellen der Bohrlöcher recht stark.

Durch den Schlag wurde die Kohle im Bereich des Stützpfeilers ztrümmert und vorgetrieben, nicht mehr die jenseits der Störung und der Abrißlinie der Streckenausbrüche. Deutlich zeigt sich der durch das Wälzvermögen CO_2-arm gewordene 4 bis 5 m breite vordere Flözstreifen, der in dem 20 m langen, vorgeschobenen Kohlenblock und dem 25 m langen stehengebliebenen Bein gleich unterhalb des Sprungdurchtrittes erhalten geblieben ist. Die um so intensiver ausgebrochene Wälzzone zeigte sich in dem breiten, tief reichenden Kanal gleich hinter dem Kohlenbein.

Abb. 13.

b) Flözgruppen.

Allgemein bekannt und in den französischen CO_2-Gruben seit Jahren systematisch durchgeführt ist die Beseitigung der Ausbruchfähigkeit, die „Immunisierung“, durch Druckentspannung einer Flözgruppe mittels Vorbau eines ihrer Flöze. Man wurde auf diese Eigenschaft, zunächst allgemein genommen, durch Veränderungen im Gang der Kohle bzw. durch große Schwankungen in den Gewinnungskosten aufmerksam. So veröffentlicht Morin (21) bereits 1912, daß der Gang der Kohle unter einem abgebauten Flöz dann gut ist, wenn dessen Versatz wieder voll belastet ist. Die Abbaukosten steigen aber auf das 3- bis 4-fache, wenn Abbaukante unter Abbaukante steht, und der Gang der Kohle verliert sich im oberen Flöz völlig, sobald das untere voreilt. Dies beruht auf dem Absenken der Sohle des oberen Flözes, die für das liegende Hangendes ist. Weber (40) steht das Verdienst zu, den Zusammenhang zwischen Gebirgsdruck und dem Auftreten von Schlagwettern und Gasausbrüchen für die Verhältnisse des Ruhrbezirks entwickelt und damit die wissenschaftliche Grundlage für die „Immunisierung“ geschaffen zu haben. Für die niederschlesischen Kohlensäure-

gruben hat Rother (24) im Jahre 1930 an Hand von Grubenrissen nachgewiesen, daß der Abbau eines geeigneten Flözes die anderen Flöze entspannt und dadurch in diesen an Stelle der Kohlensäureausbrüche eine ständige Kohlensäureentgasung hervorruft. Diese Erscheinung ist in CO_2-Flözen so zu erklären, daß durch die Entlastung vom Schweredruck eine Expansion der eingeschlossenen CO_2 eintritt, durch die das Porenvolumen wächst. Die CO_2 geht in den gasförmigen Zustand über, wird dadurch leicht beweglich und kann, sei es durch die aufgeweiteten Flözporen, sei es durch die in der absinkenden Bergebank aufreißenden Risse, in den Grubenbau des „Schutzflözes" oder in poröse Gesteine der Zwischenschichten entgasen. Dieser die CO_2-Verdampfung auslösende Kunstgriff ist im Grunde genommen nichts anderes als eine durch Druckentlastung bewirkte zeitweise Herbeiführung der Verhältnisse oberhalb der kritischen Tiefe. Ein vorzügliches Beispiel hierfür nennt Jarlier (14) aus der Grube Molière, wo der Verhieb des Flözes St. Jean auf den späteren Abbau von St. Ferdinand so einwirkte, „daß darin zwar die Ausbrüche verhütet waren, die ständige Gasentwicklung aber ungewöhnlich stark wurde".

c) Restpfeiler.

Am Schluß der Betrachtungen über den Einfluß der Abbauwelle sei noch kurz auf die Gefährlichkeit von Restpfeilern usw. hingewiesen. Sie sind bekannt dafür, daß in ihnen sehr große Spannungen vorhanden sind, die sich mit Vorliebe selbst bei kleinen Anlässen auslösen. Ereignen sich in ihnen Ausbrüche, wird es oft schwer sein zu entscheiden, ob ein Druckschlag das Primäre war, der naturgemäß einen Gasausbruch zur Folge haben mußte, oder ob nur eine CO_2-Eruption vorliegt. Auch insofern sind sie bedenklich, als in ihnen die Voraussetzungen für Ausbrüche oberhalb der kritischen Tiefe (s. Wenzeslausgrube) gegeben sind. Eine weitere Gefahr liegt darin, daß Restpfeiler auf die unterlagerten Flöze ihre Sonderbelastung übertragen und dort zu lokalen Pressungzonen führen, die ihrerseits Ausbrüche veranlassen können, wo man sie sonst nicht erwartet. Das gleiche gilt für Abbaufelder in tektonischen, noch nicht entspannten Stauchungszonen.

E. Schutzmaßnahmen.

1. Erkennung der Ausbruchsgefahr.

Wenn man versuchen will, aus den dargelegten Anschauungen Maßnahmen zur Vermeidung von Ausbrüchen abzuleiten, d. h. also, wenn man der heutigen von den Franzosen „barbarisch" genannten Methode, die Ausbrüche nach Möglichkeit auszulösen, den Rücken kehren will, so wäre es zunächst notwendig, Verfahren zu entwickeln, die zuverlässig eine Ausbruchsgefahr erkennen lassen. Die Möglichkeit von Eruptionen ist, ausgenommen die Nähe von Restpfeilern und heut noch tätigen CO_2-Zufuhrspalten, erst ab der kritischen Tiefe gegeben. Die Englerschen Druckproben sind, als Einzelmessung gewertet, zu unsicher. Anzeichen für die Gefährlichkeit eines Betriebes sind eine geringe primäre Druckfestigkeit der Kohle und der Grad ihres Aschengehaltes vor allem aber große Unterschiede zwischen der Bohrloch- und Stoßtemperatur bei sonst niedrigem Entgasungsdruck. Ein Maß für die im Flöz vorhandenen CO_2-Mengen sollte man erhalten, wenn man bereits während der Herstellung des Vorbohrloches das ausströmende Gas in seinem Verhältnis zum Bohrmehl mißt. Die Drucknahme nach der Bohrung gibt nur einen Anhalt für die Entgasungsfähigkeit des Stoßes, kaum einen solchen für den Gasgehalt. Zu empfehlen wäre es, tiefer als 2 m (die Sprenglöcher sind ebenso lang) vorzubohren. Dies darf aber nicht erst geschehen, wenn sich auch anderweitige Anzeichen für die Ausbruchgefahr zeigen, da man sich sonst der Möglichkeit aussetzt, bei der Bohrung selbst einen Ausbruch zu bekommen. Wichtig wäre es, über die Nähe von Sprüngen u. dgl. Bescheid zu wissen. Die Schaffung von sorgfältig geführten Störungsrissen in den einzelnen Flözen würde von Nutzen sein. Desgleichen sind geophysikalische Messungen zur Bestimmung von Lagerstätten - Unregelmäßigkeiten wünschenswert.

2. Verhütung der Ausbrüche.

a) In Ausrichtungsbauen.

In Ausrichtungsbauen muß man wissen, in welcher Nähe vom Flöz man sich mit dem Grubenbau befindet. Eine Vorbohrlochtiefe von 5 m sollte nach Möglichkeit nicht unterschritten werden. Lochtiefen von 3 m erscheinen höchst bedenklich, weil bei 2 m Sprenglochlänge im Fall gerade eine Gesteinsbrust von 1 m Stärke unerkannt bleibt, die die Möglichkeit von Ausbruchverzögerungen in sich birgt. Ist die Nähe des Flözes festgestellt, sollte man es möglichst zahlreich anbohren und es, wie auch Artikel 38 der Belgischen Bergpolizei-Verordnung vorschreibt, mindestens zwei Tage stehen lassen, um ihm nach deren Ansicht Zeit zur Entgasung, nach der des Verfassers Zeit zum Ausgleich der Verdampfungskälte zu lassen. Das Abdecken der Gesteinsbrust müßte vorsichtig, falls Schießen unvermeidlich, mit schwachen Einzelschüssen erfolgen. Ein teilweises Verspreizen des Stoßes soll dabei nützlich sein (31, 14).

Die Ausbrüche sind letzten Endes durch die Existenz eines steilen Gasdruck- oder Temperaturgefälles bedingt. Beide Gefahrenquellen müßten sich durch eine einige Meter tief gehende Heizung des anzufahrenden Flözes beseitigen lassen. Zunächst soll dadurch der Wärmebedarf der Verdampfungszone künstlich gedeckt werden. Ein Wärmegefälle vom Stoß her und damit die Bildung einer unweit von ihm gelegenen „überwärmten CO_2-Menge" wäre unmöglich. Weiter ließe sich durch eine allerdings sehr vorsichtige und schrittweise generelle Erwärmung des Stoßes über seine Normaltemperatur hinaus bis auf etwa 30° C (kritische CO_2-Temperatur) die Uebergangszone weit seitlich in das Flöz treiben, so daß die nunmehr gasförmige Kohlensäure wegen ihrer besseren Beweglichkeit viel leichter entgasen kann. Der Verfasser denkt sich die technische Durchführung dieses Vorschlages z. B. in der Weise, daß man in Bohrlöcher von etwa 8 cm Durchm. zwei ineinandergesetzte Rohre einführt, von denen das äußere gelocht ist. Zwischen die beiden Rohrwandungen wird durch einen elektrischen Apparat, ähnlich den bekannten Fön-Heißluftduschen, Warmluft geblasen, die das Flöz erwärmt. Das innere Rohr führt die abgekühlte Luft und die durch die Löcher des Außenrohres eindringende CO_2-Entgasung ab.

b) In Vorrichtungsbauen.

Vorrichtungsbetriebe müßten wegen ihres schwachen Wälzschutzes nach Möglichkeit vermieden werden. Besonders gefahrvoll erscheint die Untersuchung eines Feldesteiles in einem tektonisch zerriebenen, aschenreichen Flöz mit Sandsteinhangendem oder -liegendem.

Zur Verstärkung des Wälzschutzes können Vorrichtungsstrecken breit, gewissermaßen als kurze Streben aufgefahren werden. Ist die Ausbruchgefahr nicht groß und liegt eine nachgebende Flözsohle vor, genügt vielleicht bei sorgfältigem Verzug das Schlitzen der Streckensohle längs des Oberstoßes. Man bewirkt damit eine Auflockerung und bessere Entgasung des Flözes. Das Arbeiten in der Wälzzone eines Abbaubetriebes wird stets gefährlich sein. Besteht Gebirgsschlaggefahr, so soll diese durch den Einbau von schräg gesetzten Holzkasten (35), hinter denen noch ein 1 m breiter freier Raum bis zum Bergeversatz gelassen wird, beseitigt werden. In steileren Flözen wäre von Schwebenden abzuraten. Besonders das Nachschießen der Sohle bis dicht vor Ort ist zu vermeiden, da sonst der Stoßdruck Ausbrüche durch Auslaufen herbeiführen kann. Abhauen sind auch nach französischer und belgischer Erfahrung ungefährlicher. Sie haben allerdings den Nachteil eines schwierigeren Fluchtweges. Interessant ist eine Angabe von Schausten (31), wonach auf den Gruben Chevalière de Dour für Aufhauen mit breitem Blick der tägliche Fortschritt max. 0,7 m betragen darf, während in einem ebensolchen Abhauen 1,2 bis 1,5 m als zulässig betrachtet werden.

Das oben entwickelte Stoßheizverfahren wäre auch in der Vorrichtung anwendbar. Die Heizbohrlöcher sind vor allem in die sonst kaum entgasungsfähigen Eckpartien *Ko* und *Kn* in Abb. 6 vorzutreiben. Der Verfasser hält einen Erfolg dieses Vorschlages für wahrscheinlich, da durch ihn die Grenze der flüssigen freien CO_2 weit entfernt gehalten wird, wodurch nahe dem Grubenbau künstlich die gleichen Verhältnisse wie in dem Ausbruchflöz oberhalb der kritischen Tiefe geschaffen werden.

c) In Abbauen.

Im Abbau sind für die Auswahl des Schutzflözes die gleichen geologischen Verhältnisse bestimmend, wie sie für die Vorrichtung geschildert wurden.

Während beim Streckenvortrieb u. dgl. dem Bergmann nur wenig Mittel zur Beeinflussung der Druckwelle zur Verfügung stehen, ist ihm diese Möglichkeit im Abbau um so mehr gegeben. Die Wichtigkeit eines breiten Druckstreifens wurde betont. Erste Grundbedingung hierfür sind lange Strebfronten. Weiterhin liegen die Verhältnisse günstig, wenn man versatzlos mit wandernden Holzkasten baut. Ist dies wegen zu großer Mächtigkeit od. dgl. nicht möglich, müßte man beim Versetzen das Holz rauben, oder es wäre wenigstens dafür zu sorgen, daß der Ausbau nicht noch auf weite Strecken trägt. Er vermag dies in größerem Maße, als man im allgemeinen annimmt, wächst doch die Tragfähigkeit einer Säule mit ihrem Kürzerwerden immer mehr (Knickformel). Der das Holz umlagernde Bergeversatz verhindert das Ausknicken und wirkt sich wie eine starke Verkürzung der Knicklänge aus. Man sollte die Stempel deshalb vor dem Verkippen ankerben, um ihre baldige Zerstörung zu sichern. — Unter Sandstein ist die Gebirgsschlaggefahr das Ausschlaggebende. Sie wird durch schnell tragenden Versatz am besten bekämpft. Herd (13) gibt an, daß es durch Einführung des Rippenversatzes gelang, die Bergschläge auf Springhill aus dem Abbau in die schwach belegten Strecken abzudrängen. Der Stückbergebedarf hierfür könnte aus im Streb mitgeführten Bergeörtern, die das Hangende aufschießen und so sein baldiges Setzen erzwingen, gedeckt werden. — Speziell für den Abbau gilt Regelmäßigkeit als oberster Grundsatz. Veränderungen des Abbautempos und des Strebeinfallens wie auch der Strebstöße zueinander, gegeneinander laufende Verhiebrichtungen, Restpfeiler, Feierschichten usw. werden stets bedenklich sein. — Um der CO_2-Anstauung und Abbauwellenverzögerung durch Sprünge zu entgehen, könnten die Strebstöße in den einzelnen Feldesteilen so geneigt werden, daß sie senkrecht auf das generelle Streichen der Störungen treffen. Die Druckwelle kann dann die CO_2 längs des Hindernisses entlangwälzen und würde sich nicht mehr vergeblich bemühen, sie durch die verstopfte Zone hindurchzubringen. Die Neigung der Streben ist besonders günstig, wenn sie mit ihrem oberen Ende voranstehen. Durch diese Maßnahme und das festliegende mittlere Störungsstreichen wäre die allgemeine Verhiebrichtung bestimmt. Bei oben vorgesetzten Streben werden auch die Ansatzwinkel gegen die abgebaute obere Sohle und das unten anstehende frische Feld stumpf. Die sich in scharfe Ecken schlecht einfügende Abbauwelle wird somit in ihrer Ausbildung begünstigt und gibt einen besseren Wälzschutz.

Für den Abbau des vorlaufenden Flözes ergeben sich folgende Vorschläge. Das Schutzflöz muß völlig gewonnen werden. Abbau ohne Bergeversatz fördert die Immunisierung. Um auch die unteren Strebhälften überlagernder Flöze entspannen zu können, erscheint ein gleichzeitiger Unterwerkbau im Schutzflöz ratsam. Vor der Strebfront sollten nach französischem Vorbild in Abständen von 20 bis 30 m Dränagestrecken unter den oben geschilderten Vorsichtsmaßnahmen getrieben werden. Nötigenfalls laufen sie unter Heizschutz vor. Der Strebstoß steht senkrecht zum Störungsstreichen. Die schräg liegende Druckwelle bringt die von ihr ausgequetschte CO_2 durch die Stöße der horizontalen Dränagestrecken zur Entgasung. Zur Erleichterung der letzteren wird die Sohle geschlitzt. Das Vortriebtempo wäre so zu wählen, daß die Prüfungsergebnisse für die CO_2-Gefahr günstig bleiben. Der Abbau der immunisierten Flöze dürfte mit jedem Gewinnungsmittel vorgenommen werden können. Im Schutzflöz erscheint Schrämen dann unbedenklich, wenn für guten Wälzschutz gesorgt ist. Es sollte bei einer Unterteilung des Flözes durch Bergemittel in der stärksten Kohlenbank vorgenommen werden. Plötzliches Setzen des unterschrämten Stoßes wäre zu verhindern. Langarmschrämen wird nicht anwendbar sein, da seine Schrämtiefe bis an oder gar in die Zone außerhalb des Wälzschutzes vordringt. — Zeigen sich trotz allem Anzeichen besonderer Gefahr, wird auf das Provokationsschießen nicht zu verzichten sein.

3. Gefahrminderung bei Ausbrüchen.

Wetterdrosseltüren sollten besser im Frischwetterstrom, so unangenehm das auch für die Förderung sein mag, eingebaut werden, und zwar mindestens immer zwei gegeneinander öffnende Türen. Einem Ausbruch wäre damit der Weg gegen den Wetterstrom gedrosselt, mit dem Abwetterstrom aber frei, während es bei der landläufigen Anordnung der Türen umgekehrt ist. Im Schutzflöz hält der Verfasser vorsorglich abwärts gehende Wetterführung für wünschenswert, während sie in den entspannten Flözen wohl überflüssig ist. Daraus ergäbe sich auch die völlige Isolierung der Wetterführung des Schutzflözes gegenüber den sonstigen Wetterströmen. Ferner wäre für diese Betriebe die Einfügung von mehrstündigen Pausen zwischen den Förderschichten gemäß dem französischen Vorbild günstig. Die teuren Arbeitszeitverluste durch Schießen zum Schichtwechsel blieben zudem erspart.

F. Gesamtüberblick.

Zusammenfassend ergibt sich über den Zustand der Kohlensäure, ihre Ausbrüche und die Vorschläge zu deren Verhütung das folgende Bild:

Die im Unverritzten vorhandenen CO_2-Drücke sind erheblich größer, als man bisher annahm. Sie scheinen im zermürbten Flöz ab der kritischen Tiefe gleich dem Schweredruck der überlagernden Schichten zu sein. Die Ausbruchgefahr ist im allgemeinen an die Existenz flüssiger Poren-CO_2 gebunden. Besonders durch den wärmeverbrauchenden Verdampfungsvorgang und seinen thermischen Ausgleich mit der Umgebung entsteht eine CO_2-Stauung und -Druckerhöhung, welche die Standfestigkeit des CO_2-gesättigten Kohlenstoßes auf das höchste beansprucht und selbst oder beim Hinzukommen weiterer Energien (Schußschwingungen usw.) zu seiner Zersprengung führt. Auch eine plötzliche Freilegung des „CO_2-Felddruckes“ genügt zuweilen zur Auslösung von Eruptionen. Der Abbaudruck wirkt sich im allgemeinen schutzbringend aus, versagt aber oft an Störungen. Aus den gewonnenen Anschauungen werden teils neuartige, ausbruchverhütende Maßnahmen abgeleitet, die es vielleicht gestatten werden, die Gewinnung in einem großen Teil der Vorrichtungs- und Abbaubetriebe unter Anwendung der gleichen Hilfsmittel vorzunehmen wie in ausbruchfreien Zechen.

Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68